

# **Efeito do chorume acidificado no desenvolvimento inicial do milho**

**Maria da Cunha Rego Pereira da Silva**

Dissertação para obtenção de Grau Mestre em  
**Engenharia Agronómica**

Orientadores: Professor Doutor David Paulo Fangueiro

**Júri:**

Presidente: Doutor Henrique Manuel Filipe Ribeiro, Professor auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

**Vogais:** Doutor David Paulo Fangueiro, Professor auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Doutor Ricardo Nuno da Fonseca Garcia Pereira Braga, Professor auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

*“(...) O estudo da natureza mostrar-vos-á as coisas belas e maravilhosas de que Deus encheu o mundo para vosso deleite. (...) Procurai deixar o Mundo um pouco melhor do que o encontrasteis (...).”*

Última mensagem aos escuteiros por Sir Robert Baden-Powell of Gilwell, fundador do Escutismo e do Guidismo.

## Agradecimentos

O presente trabalho é o culminar de muitos meses de trabalho e dedicação, ao longo dos quais recebi o apoio e ajuda de várias pessoas sem o qual não teria conseguido finalizar mais uma etapa de desenvolvimento curricular e pessoal da minha vida. Quero deixar os meus agradecimentos:

Ao Professor David Fangueiro, pela disponibilidade, paciência, incentivo e conhecimentos transmitidos ao longo do ensaio experimental e durante a elaboração da dissertação.

Às pessoas do Horto de Química Agrícola Boaventura Azevedo. Agradeço ao Engenheiro Miguel Martins, Laboratório 10, pela ajuda em todas as etapas laboratoriais.

A toda a minha família, em particular à minha mãe, ao meu pai e ao meu irmão que sempre me apoiaram em todas as decisões e me incentivaram a completar mais uma etapa fundamental.

A todos os meus amigos, que me acompanham desde o primeiro dia que entramos na faculdade, por toda a ajuda e carinho demonstrados ao longo destes seis anos.

E por fim, às minhas amigas Guias, por me mostrarem que com trabalho, dedicação e compromisso conseguimos chegar onde quisermos.

## Resumo

Com a crescente produção animal, uma gestão adequada dos efluentes pecuários tornou-se numa maior preocupação para os produtores agrícolas. De forma a minimizar os impactes ambientais que lhes estão associados, é possível proceder-se à acidificação dos chorumes. Além de diminuir as emissões de gases poluentes para a atmosfera, este processo leva ao aumento da solubilização de vários nutrientes, como o fósforo ou o zinco, tornando-os, potencialmente, mais disponíveis para as plantas.

Deste modo, o trabalho apresentado pretende verificar se o chorume de bovino acidificado possui um efeito similar aos adubos “*starter*” no desenvolvimento inicial do milho (*Zea mays*, L.). Para esse efeito, o ensaio realizou-se em vasos com solo arenoso. As modalidades consideradas foram 1) Aplicação de adubo NPK *starter* (NPK), 2) Incorporação de  $\frac{1}{2}$  da quantidade de chorume bruto e  $\frac{1}{2}$  da quantidade de NPK *starter* (CB-NPK), 3) Incorporação de chorume bruto de bovino (CB), 4) Incorporação de chorume bruto acidificado com ácido sulfúrico (CAS), 5) Incorporação de chorume bruto acidificado com ácido sulfúrico e com adição de fósforo (CAS-P), 6) Incorporação de chorume bruto acidificado com ácido sulfúrico e com adição de zinco (CAS-Zn), 7) Incorporação de chorume bruto acidificado com ácido sulfúrico e com adição de fósforo e zinco (CAS-P-Zn). Para cada modalidade realizaram-se três repetições e consideraram-se três períodos de crescimento após a emergência, em que foram avaliados a produção de matéria seca e a exportação de nutrientes.

A combinação do chorume não tratado com o adubo mostrou ser a modalidade mais eficiente com uma produção de matéria seca de 15,01 g por vaso em relação aos outros tratamentos onde os valores rondavam as 12,57 g por vaso. Foi também perceptível que os efeitos benéficos da acidificação na produção do milho só são visíveis no último período de crescimento (aos 45 dias de crescimento).

**Palavras-chave:** chorume bovino, acidificação, efeito *starter*, milho

## Abstract

With the increase of animal production, a proper management of the effluents from cattle farming became a major concern for the agricultural producers. To minimize the associated environmental problems, it is possible to acidify the slurry. In addition to reducing emissions of polluting gases to the atmosphere, this process increases solubilization of various nutrients, such as phosphorus and zinc, making them potentially more available to plants.

Therefore, the present work intends to verify if the acidified slurry has a similar effect to the starter fertilizers in the initial development of maize (*Zea mays*, L.). Therefore, the experiment was carried out in pots with a sandy soil. The applied treatments were 1) Application of NPK *starter* fertilizer (NPK), 2) Incorporation of  $\frac{1}{2}$  of the quantity of raw slurry and  $\frac{1}{2}$  of the quantity of NPK *starter* (CB-NPK), 3) Incorporation of raw slurry (CB), 4) Incorporation of raw slurry acidified with sulfuric acid (CAS), 5) Incorporation of raw slurry acidified with sulfuric acid and with phosphorus addition (CAS-P), 6) Incorporation of raw slurry acidified with sulfuric acid and with zinc addition (CAS-Zn), 7) Incorporation of raw slurry acidified with sulfuric acid and with phosphorus and zinc addition (CAS-P-Zn). For each one, three repetitions and three periods of growth after the emergency were considered, in which the production of dry matter and the export of nutrients were evaluated.

The combination of raw slurry with the fertilizer proved to be the most efficient modality with a dry matter yield of 15,01 g/pot compared to the other treatments where the values were around 12,57 g/pot. It was also noticeable that the beneficial effects of acidification on crop production are only visible in the last growth period.

**Keywords:** Cattle slurry, acidification, *starter* effect, corn

# Índice

Agradecimentos .....	III
Resumo.....	IV
Abstract .....	V
Índice de quadros.....	VIII
Índice de figuras .....	IX
Lista de abreviaturas .....	XII
Introdução.....	1
Parte I – Revisão Bibliográfica .....	4
1 – O Milho .....	4
1.1. Características gerais da planta .....	4
1.2. Exigências nutricionais .....	4
2 – Efeito <i>Starter</i> no Milho .....	8
2.1. Conceito base .....	8
2.2. Importância do efeito <i>starter</i> .....	8
2.3. Nutrientes com maior importância.....	10
3 – Uso de chorume bovino como fertilizante .....	10
3.1. Setor da bovinicultura no país .....	10
3.2. Uso de chorume .....	11
3.3. Riscos associados à sua utilização .....	13
3.4. Tratamentos aplicados.....	15
Parte II – Materiais e Métodos.....	18
1 – Ensaio em vasos .....	18
1.1 Local .....	18
1.2 Condições ambientais .....	18
1.3 Caraterísticas do solo inicial.....	19
1.4 Caraterísticas do chorume .....	19
1.5 Delineamento experimental .....	20
1.6 Planta utilizada no ensaio .....	22
2 – Métodos analíticos .....	24
2.1 Caraterísticas do solo .....	24
2.2 Caraterísticas do chorume .....	25
2.3 Caraterísticas da planta (parte aérea e raiz) .....	25
3 – Cálculos e tratamento estatístico.....	26
3.1 Cálculo da exportação dos nutrientes.....	26

3.2 Tratamento estatístico .....	26
Parte III – Resultados e Discussão .....	27
1 – Produção de Milho .....	27
1.1 Produção de matéria seca .....	27
a) Parte aérea .....	27
b) Raízes.....	29
c) Parte global .....	30
1.2 Concentração de N, P e Zn na parte aérea.....	31
1.4 Concentração de N, P e Zn nas raízes.....	34
2 – Exportação de nutrientes pelas plantas .....	37
2.1 Azoto .....	37
a) Parte aérea .....	37
b) Raízes.....	39
c) Totalidade da planta .....	40
2.2 Fósforo .....	42
a) Parte aérea .....	42
b) Raízes .....	43
c) Totalidade da planta .....	45
2.3 Zinco .....	46
a) Parte aérea .....	46
b) Raízes.....	47
c) Totalidade da planta .....	49
3 – Análise dos solos .....	51
3.1. Valores de pH .....	51
3.2 Valores de condutividade.....	52
3.3 Fósforo extraível.....	53
Parte IV – Síntese e conclusões.....	56
Parte V – Referências Bibliográficas.....	59
Parte VI – Anexos .....	64
Anexo 1.....	64
Anexo 2.....	71
Anexo 3.....	74

## Índice de quadros

<b>Quadro 1</b> - Distribuição do efetivo bovino (Nº) por localização geográfica (adaptado de INE 2016).....	11
<b>Quadro 2</b> - Composição de chorumes de bovinicultura adaptado de Quelhas dos Santos (2001).....	12
<b>Quadro 3</b> - Efeito nas características do chorume de suíno acidificado com ácido sulfúrico (adaptado de Hjorth <i>et al.</i> , 2015).....	17
<b>Quadro 4</b> - Características do solo utilizado.....	19
<b>Quadro 5</b> - Valores médios de humidade, matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), azoto total (N total), azoto amoniacal (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ), potássio (K), fósforo (P) e pH dos dois tipos de chorume bovino (CB), acidificado com ácido sulfúrico (CAS).....	20
<b>Quadro 6</b> - Esquema que representa as adições realizadas aos vasos consoante a modalidade a ensaiar.....	21
<b>Quadro 7</b> - Quantidades de macro e micronutrientes veiculados em cada modalidade.....	21
<b>Quadro 8</b> - Métodos usados para caracterizar o solo.....	24
<b>Quadro 9</b> - Métodos analíticos usados para fazer a caracterização do chorume.....	25
<b>Quadro 10</b> - Concentração de macronutrientes nas plantas de milho aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições.....	31
<b>Quadro 11</b> - Concentração de macronutrientes nas plantas de milho aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições.....	34



## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> - Ciclo do azoto no solo (adaptado de Di e Cameron (2002)).	6
<b>Figura 2</b> - Fluxos e perdas de azoto veiculado por efluentes pecuários quando aplicados aos solos (adaptado de Amberger, 1990).	14
<b>Figura 3</b> - Tratamentos aplicados ao chorume (Bicudo, J., 1999).	15
<b>Figura 4</b> - Valores médios de temperatura e humidade do ar registados na estufa ao longo do ensaio.	18
<b>Figura 5</b> - Disposição espacial das modalidades no Horto de Química Agrícola Boaventura Azevedo.	22
<b>Figura 6</b> - Vasos acertados a três plantas.	22
<b>Figura 7</b> - Vasos com as cinco sementes de milho iniciais.	22
<b>Figura 8</b> - Registo fotográfico do conjunto de sete repetições (uma de cada modalidade) aos 10 (A), 25 (B) e 40 (C) dias após a germinação.	23
<b>Figura 9</b> - Evolução da matéria seca da parte aérea do milho obtida aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada data, valores com letras diferentes são estatisticamente diferente à $P < 0,05$ .	27
<b>Figura 10</b> - Evolução da matéria seca das raízes do milho obtida em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada data, valores com letras diferentes são estatisticamente diferente à $P < 0,05$ .	29
<b>Figura 11</b> - Evolução global da matéria seca do milho obtida em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada data, valores com letras diferentes são estatisticamente diferente à $P < 0,05$ .	30
<b>Figura 12</b> - Exportação de azoto pelas plantas de milho em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada data, valores com letras diferentes são estatisticamente diferente à $P < 0,05$ .	37
<b>Figura 13</b> - Exportação de azoto pelas raízes de milho em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada data, valores com letras diferentes são estatisticamente diferente à $P < 0,05$ .	39
<b>Figura 14</b> - Exportação global de azoto em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada data, valores com letras diferentes são estatisticamente diferente à $P < 0,05$ .	40
<b>Figura 15</b> - Exportação de fósforo pelas plantas de milho em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3	

repetições. Para cada data, valores com letras diferentes são estatisticamente diferente à $P < 0,05$ . ....	42
<b>Figura 16</b> - Exportação de fósforo pelas raízes de milho em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada data, valores com letras diferentes são estatisticamente diferente à $P < 0,05$ . ....	43
<b>Figura 17</b> - Exportação global de fósforo em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada data, valores com letras diferentes são estatisticamente diferente à $P < 0,05$ . ....	45
<b>Figura 18</b> - Exportação de zinco pelas plantas de milho em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada data, valores com letras diferentes são estatisticamente diferente à $P < 0,05$ . ....	46
<b>Figura 19</b> - Exportação global de zinco em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada data, valores com letras diferentes são estatisticamente diferente à $P < 0,05$ . ....	49
<b>Figura 20</b> - Variação do pH do solo nas sete modalidades ensaiadas. Valores médios de 3 repetições. Valores com letras diferentes são estatisticamente diferente à $P < 0,05$ . ....	<b>Erro! Marcador não definido.1</b>
<b>Figura 21</b> - Variação da condutividade do solo nas sete modalidades ensaiadas. Valores médios de 3 repetições. Valores com letras diferentes são estatisticamente diferente à $P < 0,05$ . ....	52
<b>Figura 22</b> - Variação do teor de fósforo extraível pelo método de Egnér-Riehm no solo nas sete modalidades ensaiadas. Valores médios de 3 repetições. Valores com letras diferentes são estatisticamente diferente à $P < 0,05$ . ....	53
<b>Figura 23</b> - Variação do teor de fósforo extraível pelo método de extração com $\text{CaCl}_2$ no solo nas sete modalidades ensaiadas. Valores médios de 3 repetições. Valores com letras diferentes são estatisticamente diferente à $P < 0,05$ . ....	54
<b>Figura 24</b> – Registo fotográfico aos 10 dias de crescimento. ....	64
<b>Figura 25</b> – Registo fotográfico aos 25 dias de crescimento. ....	64
<b>Figura 26</b> – Registo fotográfico aos 40 dias de crescimento. ....	64
<b>Figura 27</b> – Registo fotográfico aos 10 dias de crescimento. ....	645
<b>Figura 28</b> – Registo fotográfico aos 25 dias de crescimento. ....	645
<b>Figura 29</b> – Registo fotográfico aos 40 dias de crescimento. ....	64
<b>Figura 30</b> – Registo fotográfico aos 10 dias de crescimento. ....	66
<b>Figura 31</b> – Registo fotográfico aos 25 dias de crescimento. ....	66
<b>Figura 32</b> – Registo fotográfico aos 40 dias de crescimento. ....	66
<b>Figura 33</b> – Registo fotográfico aos 10 dias de crescimento. ....	67

<b>Figura 34</b> – Registo fotográfico aos 25 dias de crescimento. ....	67
<b>Figura 35</b> – Registo fotográfico aos 40 dias de crescimento. ....	67
<b>Figura 36</b> – Registo fotográfico aos 10 dias de crescimento.....	68
<b>Figura 37</b> – Registo fotográfico aos 25 dias de crescimento.....	68
<b>Figura 38</b> – Registo fotográfico aos 40 dias de crescimento.....	68
<b>Figura 39</b> – Registo fotográfico aos 10 dias de crescimento.....	69
<b>Figura 40</b> – Registo fotográfico aos 25 dias de crescimento.....	69
<b>Figura 41</b> – Registo fotográfico aos 40 dias de crescimento.....	69
<b>Figura 42</b> – Registo fotográfico aos 10 dias de crescimento.....	70
<b>Figura 43</b> – Registo fotográfico aos 25 dias de crescimento.....	70
<b>Figura 44</b> – Registo fotográfico aos 40 dias de crescimento.....	70
<b>Figura 45</b> – Evolução da matéria verde da parte aérea do milho obtida em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada data, valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes à $P < 0,05$ .....	71
<b>Figura 46</b> – Evolução da matéria verde das raízes do milho obtida em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada data, valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes à $P < 0,05$ . ....	71
<b>Figura 47</b> – Evolução global da matéria verde do milho obtida em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada data, valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes à $P < 0,05$ .....	71

## Lista de abreviaturas

C	Carbono
Ca	Cálcio
CAS	Incorporação de chorume bruto acidificado com ácido sulfúrico
CAS-P	Incorporação de chorume bruto acidificado com ácido sulfúrico e com adição de fósforo
CAS-Zn	Incorporação de chorume bruto acidificado com ácido sulfúrico e com adição de zinco
CAS-P-Zn	Incorporação de chorume bruto acidificado com ácido sulfúrico e com adição de fósforo e zinco
CB-NPK	Incorporação de chorume bruto e adubo NPK
CB	Incorporação de chorume bruto
Cl	Carbono inorgânico
CN	Cabeças Normais
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido sulfúrico
K	Potássio
Mg	Magnésio
N	Azoto
N - NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Azoto na forma de ião amónia
N - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Azoto na forma de ião nitrato
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
NH <sub>3</sub>	Amoníaco
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ião amónia
NO	Monóxido de azoto
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Ião nitrito
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ião nitrato
NPK	Incorporação de adubo NPK
P	Fósforo
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Pentóxido de difósforo
S	Enxofre
UE	União Europeia
Zn	Zinco

## Introdução

Ao longo das últimas décadas, o aumento da procura de alimentos levou à intensificação da produção pecuária tendo como principal consequência um aumento do uso de recursos naturais, como a água e fertilizantes, além dos vários impactes ambientais (Reetz, 2016).

O grande aumento na produção pecuária e a sua industrialização criou um problema para os agricultores, em concreto a acumulação de efluentes nas suas explorações (Abdalla, 2002). Consequentemente surgiram problemas ambientais relacionados com o seu armazenamento, em particular com as emissões de gases (Dinuccio *et al.*, 2008) como o amoníaco (Sommer and Hutchings, 2001) e gases com efeito de estufa (Chadwick *et al.*, 2011; Webb *et al.*, 2010).

Assim, a gestão dos efluentes pecuários, nomeadamente o chorume, tem sido, cada vez mais, uma prioridade para os produtores com o objetivo de minimizar os impactes ambientais associados às suas explorações, bem como alcançar um maior valor fertilizante dos chorumes (Fangueiro *et al.*, 2014).

Com o propósito de reduzir os impactes referidos anteriormente, diversas soluções de mitigação têm sido implementadas nas explorações, nomeadamente a manipulação da dieta animal (Aarnink *et al.*, 1992; Portejoie *et al.*, 2004), cobertura dos tanques de armazenamento (Balsari *et al.*, 2006; Portejoie *et al.*, 2003) e a aplicação por injeção do chorume ao solo (Webb *et al.*, 2010). Porém, nenhuma destas soluções é eficiente ao longo de toda a cadeia de gestão do chorume. Por outro lado, a sua eficácia depende significativamente do tipo de chorume em questão e das características do solo (Ndegwa *et al.*, 2008).

Uma forma simples de evitar as emissões de amoníaco é através da criação de condições que minimizem a concentração desse elemento relativamente ao ião amónio, em concreto pela diminuição do pH do chorume. A este processo dá-se o nome de acidificação que tem sido desenvolvido e testado ao longo dos últimos trinta anos (Fangueiro *et al.*, 2015).

Os ácidos fortes, como o ácido sulfúrico, são os aditivos usados mais frequentemente neste pré-tratamento (Eriksen *et al.*, 2008). No entanto, existem algumas limitações no seu uso que devem ser consideradas pelos produtores, uma vez que se trata de um ácido forte e que ocorre formação de espuma com potencial libertação de compostos sulfatados voláteis (Regueiro *et al.*, 2016).

Além de reduzir as emissões de amoníaco com uma elevada eficácia, este pré-tratamento aplicado ao chorume tem como consequência a modificação das suas características (Fangueiro *et al.*, 2009), que poderá levar ao aumento da disponibilidade para as plantas de alguns nutrientes após a aplicação ao solo.

Uma das consequências da acidificação do chorume está relacionada com o aumento da solubilização de certos nutrientes, como por exemplo o fósforo e o zinco. Numa fase imediatamente após a aplicação do chorume tratado ao solo, poderemos ter uma maior disponibilidade destes nutrientes. Assim, pretendemos verificar se o chorume acidificado com ácido sulfúrico tem um comportamento semelhante aos adubos com efeito *starter* (usado como referência neste ensaio experimental).

No entanto, as concentrações de P e Zn no chorume poderão não ser suficientemente elevadas para suprir as necessidades das plantas, sendo necessário enriquecer o chorume com estes dois elementos. Por outro lado, o P e o Zn presentes no chorume não tratado poderão não estar imediatamente disponíveis para as plantas, podendo existir um efeito de libertação lenta. Assim, poderá ser interessante substituir parte do adubo mineral por chorume para reduzir custos com a adubação e prolongar o efeito *starter*.

Com base nestas hipóteses, foram definidas diversas modalidades, sendo elas:

- 1 – Adubo NPK *starter* (15:35)
- 2 – ½ Chorume bruto e ½ NPK *starter*
- 3 – Chorume Bruto
- 4 – Chorume bruto acidificado com ácido sulfúrico
- 5 – Chorume bruto acidificado com ácido sulfúrico e com adição de fósforo
- 6 – Chorume bruto acidificado com ácido sulfúrico e com adição de zinco

## 7 – Chorume bruto acidificado com ácido sulfúrico e com adição de fósforo e zinco

O presente trabalho pretende então verificar se o chorume bovino acidificado possui ou não um efeito no desenvolvimento inicial do milho (*Zea mays*, L.) que seja comparável com o efeito do adubo Starter.

Em relação aos objetivos secundários, procurou-se perceber se a acidificação tinha ou não um efeito na disponibilidade de nutrientes, comparando o tratamento onde se incorporou chorume bruto e aquela onde se incorporou chorume acidificado. Por outro lado, identificou-se qual o efeito que a adição de fósforo e/ou zinco ao chorume acidificado no desenvolvimento inicial do milho.

## **Parte I – Revisão Bibliográfica**

### **1 – O Milho**

#### **1.1. Características gerais da planta**

Neste ensaio experimental a planta utilizada foi o milho (*Zea mays L.*), espécie que pertence à família das *Poaceae*. É uma cultura arvense que devido à sua capacidade de adaptação, representada por vários genótipos, permite que o seu cultivo seja realizado em várias regiões do Mundo onde existem diferentes climas (ANPROMIS, 2018).

No contexto agrícola português, o milho é a cultura que mais importância tem e é aquela que envolve o maior número de explorações agrícolas, estimando-se o número em mais de 75.000 unidades produtivas, ocupando cerca de 150.000 hectares de área cultivada, de Norte a Sul do país (ANPROMIS, 2018).

Esta cultura apresenta algumas variedades pelo que pode ser associada quer à produção de silagem quer à produção de grão para alimentação humana ou animal e para fins energéticos ou industriais. Pelas características acima descritas, o milho contribui assim para a vitalidade da economia nacional e das economias regionais (ANPROMIS, 2018).

No nosso país, o milho é uma cultura de primavera-verão cuja sementeira é realizada nos meses de março-maio. Perante as condições climáticas portuguesas e principalmente nas regiões do Sul, o regadio é um fator muito importante para que esta cultura consiga atingir o seu potencial produtivo

#### **1.2. Exigências nutricionais**

À semelhança do que ocorre noutras culturas, os nutrientes que são absorvidos em maior quantidade no milho são o azoto (N), o fósforo (P) e o potássio (K). Além destes três macronutrientes principais, é necessário ter também em conta alguns micronutrientes como o zinco (Varennnes, 2003).



## Azoto

O azoto (N) é um macronutriente essencial para se atingir a produção potencial da cultura do milho, sendo esta cultura exigente em azoto (Silva *et al.*, 2012), uma vez que aumenta o teor de proteína do grão e melhora a digestibilidade do milho forrageiro. No solo, uma grande parte deste nutriente está sob a forma orgânica, apenas ficando disponível para as plantas depois de ocorrer a mineralização. O azoto mineral pode ser facilmente perdido do solo, quer por lixiviação (na forma de  $\text{NO}_3$ ) e escoamento superficial do nitrato, quer por perdas gasosas para a atmosfera sob a forma de amoníaco ou óxido nitroso (Varennnes, 2003).

No caso do N, o cálculo da adubação necessária para a cultura deverá ser realizado através de uma estimativa da produtividade esperada que é função de alguns parâmetros como as características do solo, a variedade utilizada, as disponibilidades de água e a potencialidade climática daquela região (Varennnes, 2003).

Ao longo do ciclo cultural, a quantidade e ritmo de absorção de azoto variam. Assim, até à fase das 8-10 folhas, as necessidades são reduzidas (inferiores a 10% do N total absorvido). A partir das 10 folhas e até ao escurecimento dos estigmas, a absorção realiza-se a um ritmo muito intenso (quantidade absorvida pela cultura corresponde a cerca de 60 a 70% do N total absorvido). No período de enchimento do grão, a absorção volta a diminuir para valores entre os 20 e os 30% do N total absorvido. Quando a cultura tem como finalidade a produção de grão, as suas necessidades em azoto variam entre 20 e 22 kg de N por 1000 Kg de grão, dependendo da produtividade que se quer atingir. Por outro lado, quando o objetivo da produção é a silagem, as necessidades em azoto variam entre os 12 e 13 Kg de N por 1000 Kg de matéria seca (ANPROMIS, 2018).

Apesar do milho não ser prejudicado pelo excesso de azoto presente no solo, a fertilização desajustada pode levar a um aumento significativo dos riscos de poluição das águas dos lençóis freáticos por lixiviação dos nitratos. Além disso, a fertilização em excesso representa um aumento nos custos de produção e um acréscimo na suscetibilidade da cultura a doenças e pragas (Varennnes, 2003).

A figura 1 representa o ciclo do azoto, apresentando as diversas transformações físicas e químicas, armazenamento e transporte no solo a que este elemento está sujeito. Todos estes aspetos vão ter influência na disponibilidade para as plantas e no potencial para a sua perda.

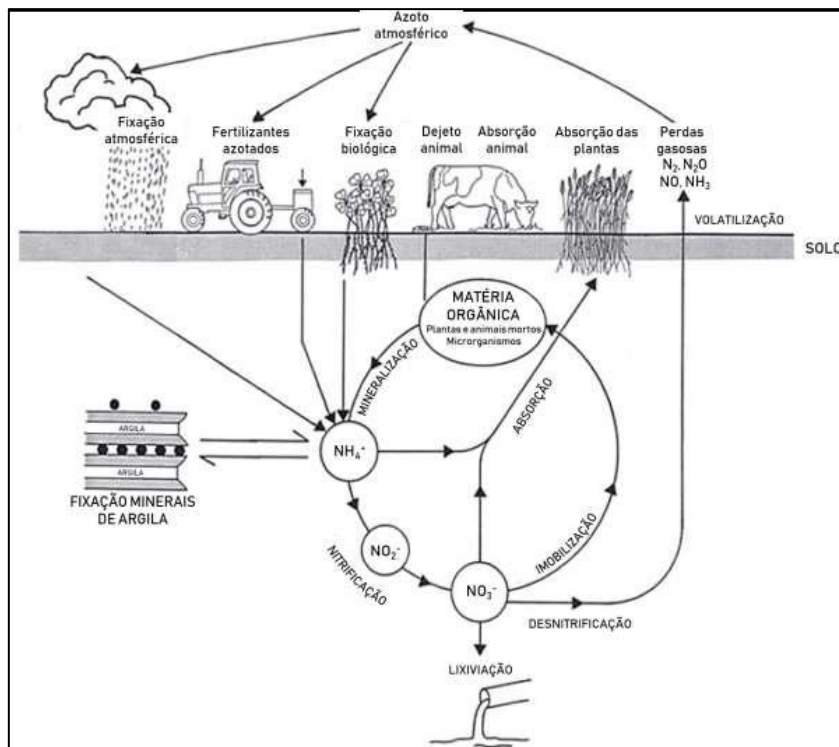


Figura 1 - Ciclo do azoto no solo (adaptado de Di e Cameron (2002)).

### Fósforo

O fósforo (P) é um macronutriente principal considerado como um fator de precocidade que tem como principais efeitos na planta a estimulação do desenvolvimento radicular, o incremento da resistência mecânica dos caules, a influência positiva na floração, fecundação, formação e maturação do grão e o melhoramento da digestibilidade do milho forragem (Santos, 2001).

Para este elemento, o milho mostra duas fases distintas de máxima absorção, a de desenvolvimento vegetativo e a de desenvolvimento reprodutivo. No período compreendido entre a emissão do pendão e o início da formação da espiga, as taxas de absorção de fósforo são menores (Olness and Benoit, 1992).

Os teores deste nutriente no solo são normalmente baixos, sendo que a maior parte do fósforo encontra-se sob formas pouco disponíveis para as plantas. Em solos que foram anteriormente cultivados, o coeficiente de utilização é de apenas 10 a 20%, ou seja, do fósforo que se encontra disponível para a planta, apenas 10 a 20% é que é absorvido pela mesma. Assim, a reduzida disponibilidade deste nutriente tem como consequência a aplicação constante de adubos fosfatados por parte dos agricultores, contribuindo para o enriquecimento progressivo dos solos com este elemento (Varennnes, 2003).

Em algumas situações, os teores de fósforo são muito elevados e consequentemente as plantas já não respondem às aplicações dos fertilizantes. Nestes casos, este elemento além de limitar o crescimento vegetal, representa também um risco ambiental uma vez que a probabilidade de ocorrerem perdas por escoamento superficial e de haver erosão dos solos é elevada, levando possivelmente a uma contaminação das águas com fósforo (Varennnes, 2003).

### *Zinco*

O zinco é um micronutriente que funciona como ativador enzimático em diversos processos metabólicos, como a produção do aminoácido triptofano, cuja função está relacionada com o crescimento de tecidos vegetais (Mengel and Kirby, 2001).

Relativamente ao milho, é das plantas que mais responde à aplicação deste micronutriente ao solo, levando a ganhos de matéria seca e de grãos (Galvão and Mesquita Filho, 1981).

De acordo com Graham e Welch (1996) aproximadamente 50% dos solos usados para a produção de cereais no mundo são deficientes em Zn sendo a aplicação de quantidades relativamente elevadas de calcário para a correção da acidez do solo uma das principais razões para essas baixas concentrações (Fageria and Zimmermann, 1979).

Quando existe uma deficiência de zinco na planta, os sintomas podem aparecer quer nas folhas mais novas como nas mais velhas, onde é possível observar o aparecimento de clorose entre nervuras, com um tom verde-claro, amarelo ou até

esbranquiçado. Em estados mais graves pode evoluir para necrose. No caso do milho, as riscas cloróticas alargam e forma-se uma banda de cada lado da nervura principal (Varennnes, 2003).

## **2 – Efeito *Starter* no Milho**

### **2.1. Conceito base**

Os fertilizantes com efeito *starter* são aqueles cujas quantidades de nutrientes colocadas próximas às sementes na altura da sementeira são reduzidas. Nas técnicas de aplicação dos fertilizantes ao solo, pode-se distinguir fundamentalmente entre distribuição a lanço, em cobertura, incorporação ao solo e localizada. No entanto, um inconveniente de se colocar o fertilizante sobre a linha é que os nutrientes pouco móveis não vão estar disponíveis para o crescimento inicial das raízes (Hergert *et al.*, 2012).

Este tipo de fertilizantes não devem ser confundidos com aqueles que são aplicados em banda próximos da linha, cujo objetivo é corrigir a deficiência de um determinado nutriente no solo. Ao utilizarem este tipo de fertilizantes, os agricultores pretendem alcançar uma melhoria no arranque da planta e no desenvolvimento do seu sistema radicular. Contudo, a sua aplicação ao solo poderá beneficiar a produtividade caso sejam aplicados em solos arenosos irrigados, com mobilização de conservação ou em solos cujo pH seja elevado (Hergert *et al.*, 2012).

### **2.2. Importância do efeito *starter***

Um bom crescimento inicial é fundamental para se maximizar o tamanho e a produtividade de uma cultura. Estudos demonstram que adubos azotados e fosfatados com efeito *starter*, aumentam significativamente o diâmetro do caule e a massa das raízes (Heiniger, 2010).

O principal benefício deste tipo de fertilizantes está relacionado com o incremento no crescimento inicial e com a uniformidade da cultura, ou seja, em resposta à aplicação do fertilizante com efeito *starter* obtêm-se plantas de maiores dimensões e com um tamanho mais uniforme (Hergert *et al.*, 2012). Além disso, o seu uso leva não só ao aumento da produtividade das culturas de grão, nomeadamente do milho (Bates, 1971;

Reeves et al., 1986; Walker *et al.*, 1984) como também reduz o *stress* nutricional das plantas, em particular nos sistemas com pouca mobilização dos solos (Kovar, 2002).

Outra vantagem relaciona-se com a possível floração e/ou maturação antecipada da planta, ou seja, alguns dias de antecipação poderão resultar num melhoramento da produção em anos cuja geada seja precoce no outono. Uma maturação precoce pode ter também como consequência um grão ligeiramente mais seco aquando da colheita (Hergert *et al.*, 2012).

Ao serem aplicados os fertilizantes com uma elevada proximidade às sementes, os efeitos que as baixas temperaturas têm na absorção de P podem ser diminuídos (Mascagni *et al.*, 2007).

A eficiência deste tipo de fertilizantes vai depender de dois aspetos fundamentais, como a capacidade que possuem em aumentar a concentração de N e P disponíveis no solo e por outro lado quão bem a germinação do milho responde a esse aumento (Kovar, 2002).

Além da importância que o N e o P representam para o desenvolvimento da planta, também o Zn poderá afetar a sua produção. Apesar de ser um micronutriente, este elemento é um componente chave em várias proteínas responsáveis por diversas reações metabólicas. O crescimento e o desenvolvimento da planta poderiam parar caso as enzimas não estivessem presentes no tecido da planta (Zinc for crop production, 2018).

Todos estes benefícios poderão ser explicados devido ao melhoramento da disponibilidade espacial dos nutrientes (Kovar and Barber, 1987; Rehm, 1986).

Contudo, é necessária mais pesquisa para que a eficiência deste tipo de fertilizantes melhore. Outra questão que deve também ser investigada relaciona-se com as elevadas quantidades de N que são aplicadas ao solo e que ficam suscetíveis de serem perdidas por lixiviação ou por desnitrificação (Heiniger, 2010).

### 2.3. Nutrientes com maior importância

Os fertilizantes com efeito *starter* geralmente são compostos por dois ou mais nutrientes, nomeadamente pelo azoto (N), pelo fósforo (P) e pelo potássio (K). A adição de zinco (Zn) e/ou de enxofre (S) pode ser desejável em certas condições do solo. O Zn deve ser incluído quando o seu teor no solo é reduzido. No caso do S, este deve ser adicionado nos solos arenosos cujo teor em matéria orgânica seja reduzido (Hergert *et al.*, 2012). A adição deste nutriente pode ser efetuada através da aplicação de chorume acidificado com ácido sulfúrico, uma vez que adicionando 6 mL deste aditivo (98%) é veiculado cerca de 1,92 g de S por cada quilograma de chorume acidificado.

Frequentemente é usada uma razão de N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de aproximadamente 1:3. No caso de solos de textura fina com teores de P não muito elevados, esta é uma boa razão. Porém, a formulação do fertilizante com efeito *starter* deve ser determinada com base nas necessidades de nutrientes, em vez de dar importância aos rácios de nutrientes (Hergert *et al.*, 2012).

A escolha dos nutrientes e a quantidade a aplicar de fertilizantes com efeito *starter* têm sido muito debatidas, havendo várias sugestões ao longo dos anos (Brown, 1968; Mortvedt, 1983). Todavia, Touchton e Karim (1986) sugerem que o N possui uma maior importância comparativamente com o P, em especial para a cultura do milho (*Zea Mays L.*) que seja cultivada em solos cujo teor em P residual seja elevado.

## 3 – Uso de chorume bovino como fertilizante

### 3.1. Setor da bovinicultura no país

As explorações do setor da bovinicultura são classificadas consoante o seu sistema de produção da seguinte forma (ENEAPAI, 2007):

- a) Explorações em regime extensivo – quando todas as fases de produção são realizadas em pastoreio e cujo encabeçamento é inferior ou igual a 1,4 Cabeças Normais por hectare (CN/ha);

- b) Explorações em regime semiextensivo – aquelas que em área coberta ou ao ar livre, utilizam pastoreio numa ou mais fases da produção;
- c) Explorações intensivas – as que em área coberta ou ao ar livre não usam pastoreio ou cujo encabeçamento é superior a 2,8 CN/ha.

Em relação à sua finalidade principal, as explorações podem classificar-se como: produção de leite, vacas aleitantes, vitelos em viteleiro, recria e acabamento e destinadas a fins lúdicos. A produção deste setor está distribuída pelas várias regiões do país, variando a densidade do efetivo consoante o tipo e o sistema da exploração. Essa variação pode ser observada no Quadro 1.

Quadro 1 - Distribuição do efetivo bovino (Nº) por localização geográfica (adaptado de INE 2016).

<b>Localização geográfica (Região agrícola)</b>	<b>Efetivo bovino Total N.º (milhares)</b>
Portugal	1670
Entre Douro e Minho	258
Trás-os-Montes	57
Beira Litoral	77
Beira Interior	80
Ribatejo e Oeste	214
Alentejo	693
Algarve	10
Açores	278
Madeira	4

### 3.2. Uso de chorume

O desenvolvimento da pecuária intensiva trouxe algum desequilíbrio e preocupações no tratamento dos efluentes produzidos (ENEAPAI, 2007). No caso da produção de leite, as explorações que têm maiores efetivos e sistemas mais intensivos, optam por instalações que resultam numa elevada produção de chorume que requer infraestruturas mais específicas no que diz respeito à limpeza e ao armazenamento do efluente.

De acordo com o Decreto-Lei nº81/(2013) de 14 de junho, os efluentes com origem nas explorações pecuárias, como a bovinicultura, são definidos como estrume e chorume.

No caso do chorume, este é definido como a mistura de fezes e urinas dos animais em conjunto com as águas de lavagem ou outras, com a possibilidade de conterem restos de alimentos ou de camas e as escorrências que têm origem nas nitreiras e silos (Portaria 631, 2009).

A sua composição é variável, dependendo de vários fatores, como a espécie e idade do animal, o regime de estabulação, o tipo e quantidade de alimento ingerido, o leite ou o trabalho produzido, o material utilizado nas camas, caso existam, e ainda as quantidades aproximadas de dejetos produzidos pelos animais. Dada esta variação na sua composição, apenas é possível apresentar valores médios, sendo sempre necessário realizar uma análise ao efluente produzido em cada exploração, de forma a determinar as suas características (físicas e químicas) e a sua capacidade em fornecer nutrientes às culturas (Varennnes, 2003).

No quadro 2, apresentam-se algumas das características dos chorumes de bovino.

Quadro 2 - Composição de chorumes de bovinicultura adaptado de Quelhas dos Santos (2001).

Parâmetro	Valor mínimo	Valor médio	Valor máximo
pH	7,22	7,78	8,55
Densidade	1,01	1,02	1,04
Matéria Seca (%)	6,22	8,40	11,81
N Total (g/L)	2,45	3,74	5,11
N – NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (g/L)	1,02	1,28	1,78
N – NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (% de N Total)	25,10	35,00	55,80
P Total (g/L)	0,64	0,84	1,09

\* Valores estão expressos na matéria bruta

Além do azoto e do fósforo fornecido, o chorume fornece também outros macronutrientes, como o enxofre (S) e o magnésio (Mg), e micronutrientes como o zinco (Zn), que devem ser considerados quando se elabora o plano de fertilização da cultura. Assim, numa única aplicação de chorume são fornecidos ao solo diversos nutrientes (Fangueiro *et al.*, 2015). Todavia, dependendo da cultura, será muito difícil satisfazer as necessidades nutricionais com apenas uma aplicação. Ao acertar a fertilização para um nutriente, poderá ocorrer défice ou excesso de outro e possivelmente ocorrer acumulação no solo (Fangueiro *et al.*, 2015).



Se não forem tomadas medidas, os efluentes podem originar um foco de poluição ambiental. Contudo, o seu uso pode e deve ser integrado no planeamento da fertilização uma vez que a sua aplicação apresenta algumas vantagens como o fornecimento de matéria orgânica aos solos e, em alguns casos, grandes quantidades de nutrientes e de água. Além disso, a sua utilização pode levar à redução nas quantidades de adubos que são adquiridos fora da exploração, ao melhoramento do teor em matéria orgânica no solo e consequentemente a sua estrutura, dando um uso eficiente a um produto que pode ser altamente poluente (Amaro *et al.*, 2006; Santos, 2012).

### **3.3. Riscos associados à sua utilização**

Aproximadamente mil milhões de toneladas de estrume e chorume são produzidos por ano na União Europeia (EU) (Marmo *et al.*, 2009). Como consequência, nos últimos anos, a gestão destes materiais tornou-se numa preocupação para as explorações intensivas de bovinos (leiteiras e aleitantes) e de suínos (Fangueiro *et al.*, 2014).

A gestão e reciclagem dos efluentes produzidos nas explorações é essencial para que o sistema agrário seja sustentável, mas também para corrigir os problemas ambientais que lhes estão associados (Trindade, 1997), em concreto as elevadas emissões de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) e gases com efeito de estufa (Chadwick *et al.*, 2011) assim como a lixiviação do ião nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) ou bactérias patogénicas para os lençóis freáticos (Amin *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2007; Mantovi *et al.*, 2006).

Na figura 2 estão representados os potenciais riscos de poluição com origem nas atividades agrícolas, nomeadamente os da produção pecuária.

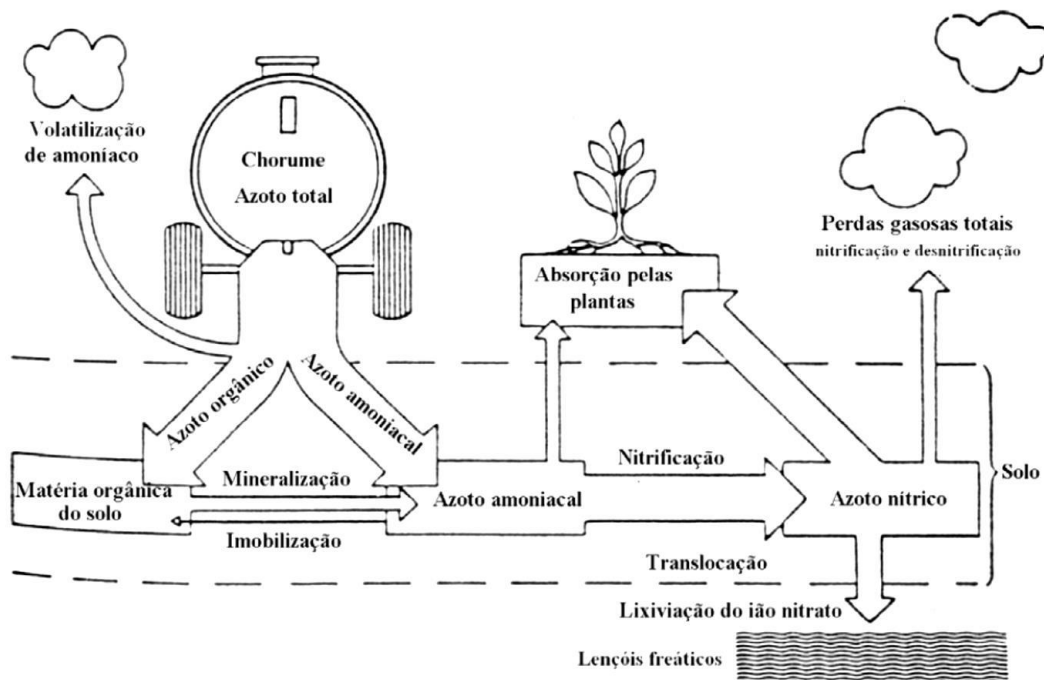


Figura 2 – Fluxos e perdas de azoto veiculado por efluentes pecuários quando aplicados aos solos (adaptado de Amberger, 1990).

A volatilização consiste na conversão de  $\text{NH}_4^+$  em  $\text{NH}_3$ , que é perdido para a atmosfera (Laegreid *et al.*, 2001). O  $\text{NH}_3$  suscetível à volatilização resulta da fixação do N e da mineralização de matéria orgânica ou de resíduos de culturas com elevado teor de N e baixa razão C/N. Existem alguns fatores dos quais a volatilização depende, como por exemplo a temperatura, a humidade, o pH, a textura do solo e a capacidade catiónica do solo (Cameron *et al.*, 2013).

Com o objetivo de minimizar os impactes ambientais e os custos que lhes estão associados, têm sido desenvolvidas medidas de mitigação associadas à gestão do chorume (Vries *et al.*, 2012). O chorume deve, por isso, ser visto como um subproduto da produção animal com valor fertilizante ou corretivo do solo, em vez de ser considerado como um resíduo poluente. Ainda assim, a sua utilização como fertilizante vai ser dependente das condições do local onde é aplicado, como o acesso a terras

aráveis, do custo de transporte ou da disponibilidade de outros fertilizantes orgânicos (Flotats *et al.*, 2009) e da capacidade de armazenamento (Fangueiro *et al.*, 2015).

### 3.4. Tratamentos aplicados

O tratamento deve ter em conta os custos de investimento e custos da exploração (energia necessária, produtos químicos, mão-de-obra, manutenção, controlo analítico e produção de lamas), área disponível para a implantação do sistema de tratamento, clima, legislação, tipo do meio recetor, proximidade de residências, direção dos ventos, estabilidade do terreno, assistência técnica e controlo operacional (Burton and Turner, 2003).

Na figura 3 está representado um esquema com as principais opções de tratamentos a aplicar a um efluente de pecuária.

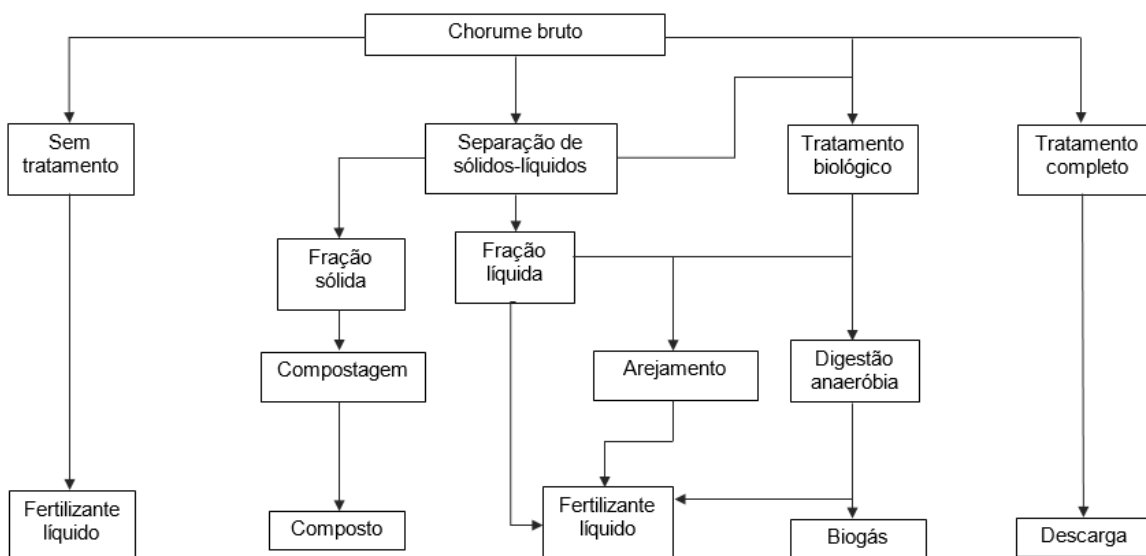


Figura 3 - Tratamentos aplicados ao chorume (Bicudo, J., 1999).

Segundo Fangueiro *et al.* (2015), tratamentos realizados previamente à aplicação aos solos têm provado ser eficientes na redução das emissões de  $\text{NH}_3$ , nomeadamente técnicas de separação sólido-líquido, acidificação e digestão anaeróbia.

A separação mecânica do chorume permite a redução do volume necessário para armazenar este tipo de efluente e como consequência deste tratamento surgem frações

úteis que podem ser utilizadas para aplicações ao solo, fertirrega, gerar composto ou produzir biogás (Fangueiro *et al.*, 2008).

Outra prática que se aconselha é a acidificação de chorumes, uma vez que reduz as emissões de  $\text{NH}_3$  durante o armazenamento e após a sua aplicação ao solo. Contudo, é possível que este tratamento influencie as dinâmicas de N e C no solo (Fangueiro *et al.*, 2013). Este pré-tratamento é baseado na redução do pH que pode ser atingido pela adição de diversos ácidos fortes como o ácido nítrico, ácido clorídrico e o mais comum o ácido sulfúrico (Fangueiro *et al.*, 2015).

O ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) é o aditivo mais usado principalmente por questões económicas, já que é dos ácidos fortes mais baratos que existem no mercado (Eriksen *et al.*, 2008). Porém, é necessário investigar alternativas ao uso deste ácido uma vez que existem problemas relacionados com a sua utilização, nomeadamente a formação de espuma que ocorre durante o processo de adição do ácido, a corrosão ou o possível desenvolvimento de compostos voláteis que contêm enxofre (Borst, 2001).

A diminuição do pH tem um impacto em vários processos químicos e microbianos, alterando a composição do chorume acidificado. Além disso, após a aplicação ao solo, o seu valor fertilizante (VF) pode ser diferente dos padrões conhecidos para chorumes não acidificados (Fangueiro *et al.*, 2015).

O VF do chorume acidificado pode ser estimado através do cálculo do seu teor de N e comparado com os valores dos outros fertilizantes (Fangueiro *et al.*, 2015). Diversos estudos que pretendiam estudar este efeito, mostraram um incremento no VF quando o pH é diminuído (Fangueiro *et al.*, 2015; Kai *et al.*, 2008; Sørensen and Eriksen, 2009). O aumento do valor fertilizante do chorume acidificado é explicado pela quebra nas emissões de  $\text{NH}_3$  e pelo aumento da dissolução de compostos inorgânicos (Hjorth *et al.*, 2015).

Pela observação do quadro 3, verifica-se que mais de 85% do P e quase 80% do cálcio (Ca) estão na forma solúvel no chorume tratado com ácido sulfúrico, em comparação com os 8% e os 22% do chorume não acidificado, respetivamente. Além destas variações, observa-se que ao usar este aditivo, o teor de enxofre (S) no chorume

tratado aumenta significativamente e perto de 20% do S total está presente na forma solúvel (Hjorth *et al.*, 2015).

A concentração total de N presente nos chorumes não foi afetada com a acidificação. Assim como, os teores de P total não variaram, sendo as concentrações de P no final do armazenamento similares às do início, ou seja, os microrganismos não consumiram P durante esse tempo. No entanto, a acidificação aumentou significativamente os teores de P solúvel (Regueiro *et al.*, 2016). No entanto, o aumento da solubilidade de alguns elementos pode ter como consequência o aumento das perdas por lixiviação (Macedo *et al.*, 2013).

Quadro 3 - Efeito nas características do chorume de suíno acidificado com ácido sulfúrico (adaptado de Hjorth *et al.*, 2015).

		Unidades	Chorume	Chorume acidificado
	pH		7,1	5,3
	MS	g/kg	91,0	83,0
	CI Total	g/kg MS	90,0	10,0
<b>P</b>	Total	g/kg MS	17,4	12,6
	Solúvel	g/kg MS	1,4	11
<b>S</b>	Total	g/kg MS	6,4	53,0
	Solúvel	g/kg MS	1,4	11,0
<b>Mg</b>	Total	g/kg MS	9,2	7,5
	Solúvel	g/kg MS	0,3	7,5
<b>Ca</b>	Total	g/kg MS	25,7	20,3
	Solúvel	g/kg MS	5,7	16,0

## Parte II – Materiais e Métodos

### 1 – Ensaio em vasos

#### 1.1 Local

O trabalho experimental foi realizado no Horto de Química Agrícola Boaventura Azevedo. Entre o dia 1 de março de 2017 e o dia 19 de abril de 2017 procedeu-se à instalação e acompanhamento do ensaio.

#### 1.2 Condições ambientais

O facto de o ensaio ter sido instalado na estufa do Horto de Química Agrícola Boaventura Azevedo, permitiu um maior controlo das condições de temperatura e humidade e assim, foi possível obter resultados que refletissem o efeito dos tratamentos realizados, excluindo a influência dos fatores ambientais.

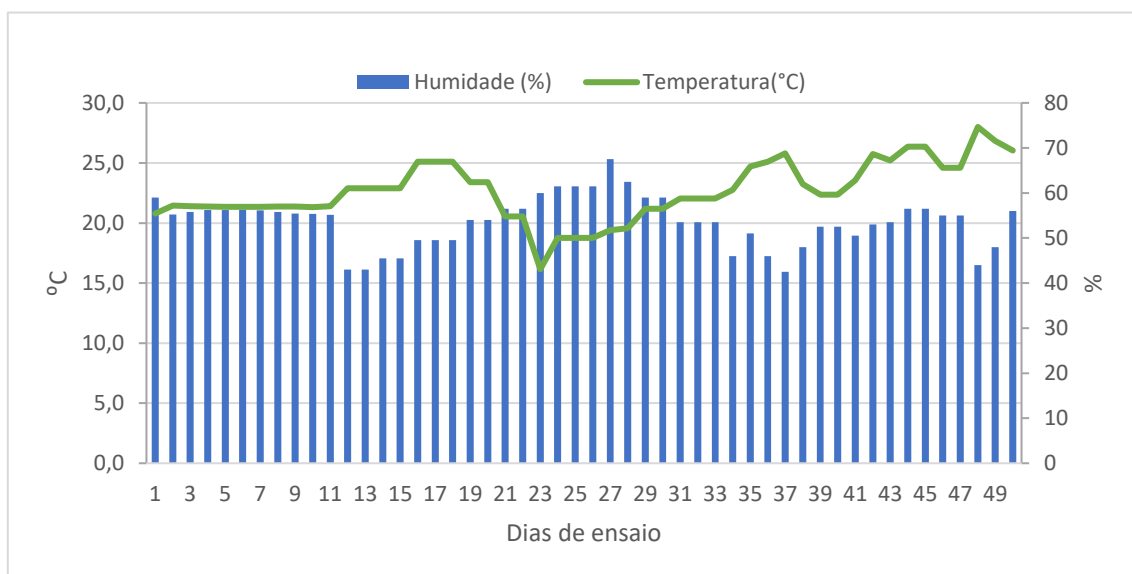


Figura 4 - Valores médios de temperatura e humidade do ar registados na estufa ao longo do ensaio.

### 1.3 Caraterísticas do solo inicial

O solo utilizado para o ensaio tem uma textura arenosa e foi recolhido na camada arável de uma parcela agrícola na área de Coimbra. No quadro 4 estão descritas as suas principais caraterísticas físico-químicas.

Quadro 4 - Caraterísticas do solo utilizado.

Parâmetro	Resultado	Observações
Textura de campo	Arenosa	Grosseira
pH (H <sub>2</sub> O) (1:2,5)	6,5	Pouco ácida
Fósforo extraível (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (mg/kg)	22	Muito baixo (Índice de fertilidade 1)
Potássio extraível (K <sub>2</sub> O) (mg/kg)	23	Muito baixo (Índice de fertilidade 1)
Matéria orgânica (%)	0,69	Muito baixo
Condutividade elétrica (1:2) (mS/cm)	0,03	Não salino
Potássio (bases de troca) (K) (cmol(+)/kg)	0,05	Muito baixo
Zinco extraível (Zn) (mg/kg)	0,18	Muito baixo

\* valores expressos na matéria seca

### 1.4 Caraterísticas do chorume

O chorume utilizado neste ensaio foi recolhido numa exploração de bovinicultura localizada em Palmela, apresentando um pH de 6,77. Seguindo o protocolo definido para este ensaio experimental, os chorumes acidificados deverão ter um pH próximo de 5,5, sendo acidificados com ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Assim, adicionaram-se 6 ml deste aditivo por cada litro de chorume, tendo sido preparado 4 litros de chorume, perfazendo um volume de 24 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> total utilizado.

A determinação dos teores de humidade e matéria seca, bem como as quantidades de azoto, azoto amoniacal, fósforo e potássio na matéria seca e o pH foram analisados nos dois tipos de chorumes (no capítulo 2.2 está explicada a metodologia aplicada). No quadro 5 apresentam-se os resultados das análises aos parâmetros referidos anteriormente.

Quadro 5 - Valores médios de humidade, matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), azoto total (N total), azoto amoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), potássio (K), fósforo (P) e pH dos dois tipos de chorume bovino (CB), acidificado com ácido sulfúrico (CAS).

Fração	Humidade	MS	MO	N total	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	pH	K	P total	Zn total
	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg		(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)
CB	905,96	99,00	65,95	3,723	1,641	6,77	2,257	0,87	0,018
CAS	900,63	99,00	68,51	3,748	1,638	5,8	2,036	0,79	0,021

### 1.5 Delineamento experimental

As modalidades a ensaiar em triplicado foram:

- 1 – Adubo NPK *starter* (15:35)
- 2 – ½ Chorume bruto e ½ NPK *starter*
- 3 – Chorume Bruto
- 4 – Chorume bruto acidificado com ácido sulfúrico
- 5 – Chorume bruto acidificado com ácido sulfúrico e com adição de fósforo
- 6 – Chorume bruto acidificado com ácido sulfúrico e com adição de zinco
- 7 – Chorume bruto acidificado com ácido sulfúrico e com adição de fósforo e zinco

Tendo em conta que a capacidade dos vasos utilizados é de 1,6 L, estipulou-se que cada um teria 2 kg de solo. Para cada uma das modalidades realizaram-se três repetições e definiram-se três períodos após a germinação com o objetivo de quantificar a produção da planta (aos 10, aos 25 e aos 40 dias após a germinação). O ensaio realizou-se então em 63 vasos (sete modalidades, com três repetições cada e com três datas). A disposição dos vasos foi efetuada de forma aleatória e, com um intervalo de uma semana, a mesma foi modificada aleatoriamente.



O solo utilizado no ensaio foi corrigido em relação ao teor de K, adicionando-se a cada kg de solo 0,1 g de K<sub>2</sub>O. Esta correção foi feita através da adição a cada vaso de 25 mL de uma solução de KCl (0,18 M). Adicionou-se a cada vaso água desionizada com o objetivo de atingir um valor aproximado de 60% de grau de saturação em H<sub>2</sub>O.

Apresenta-se no quadro 6 as quantidades de adubo ou de chorume aplicado. Estes valores foram calculados com base na aplicação de 0,2 Kg de N por vaso. Consta também no quadro 6, a quantidade de P e Zn aplicados pelo adubo, em cada modalidade.

Quadro 6 - Esquema que representa as adições realizadas aos vasos consoante a modalidade a ensaiar.

Modalidades	Adição de NPK (g)	Adição de Chorume (g)	Adição de Zn (g)	Adição de P (g)
NPK	1,33	0	0	0
CB - NPK	0,67	62,5	0	0
CB	0	125	0	0
CAS	0	125	0	0
CAS - P	0	125	0	1,28
CAS - Zn	0	125	0,43	0
CAS - P - Zn	0	125	0,43	1,28

No quadro 7 apresentam-se as quantidades de N, P e Zn que foram veiculadas pelos adubos e/ou pelo chorume. A quantidade de N veiculada foi igual para todas as modalidades e a partir desse parâmetro calculou-se os teores de P e Zn.

Quadro 7 – Quantidades de macro e micronutrientes veiculados em cada modalidade.

Modalidades	N total veiculado (g)	P total veiculado (g)	Zn total veiculado (mg)
NPK	0,2	0,2014	6,65
CB - NPK	0,2	0,15215	4,39
CB	0,2	0,1229	2,13
CAS	0,2	0,1029	2,13
CAS - P	0,2	0,2015	2,13
CAS - Zn	0,2	0,1029	6,65
CAS - P - Zn	0,2	0,2015	6,65

Na figura 5 apresenta-se a disposição dos vasos que foi efetuada de forma aleatória e, com um intervalo de uma semana, a mesma foi modificada aleatoriamente.

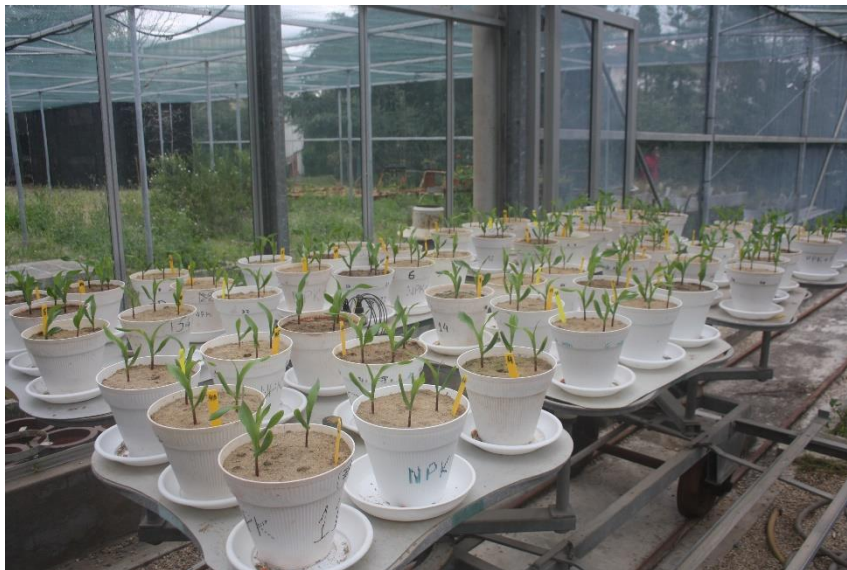


Figura 5 – Disposição espacial das modalidades no Horto de Química Agrícola Boaventura Azevedo.

### 1.6 Planta utilizada no ensaio

A planta usada foi o milho (*Zea mays* L.), tendo a sementeira sido realizada sem pré-germinação da semente. Foram colocadas cinco sementes por vaso (figura 6) e posteriormente foi acertado a três o número de plantas por vaso (figura 7).



Figura 7 - Vasos com as cinco sementes de milho iniciais.



Figura 6 - Vasos acertados a três plantas.

Com o objetivo de manter todos os vasos com as mesmas condições hídricas ao longo do ensaio experimental, assegurando que tinham a quantidade de água necessária previamente calculada, os vasos foram pesados diariamente, ou com um intervalo de um dia, e foi adicionada a quantidade de água de forma a perfazer o peso ideal.

Passados dez dias da emergência, procedeu-se ao corte das plantas selecionando-se ao acaso três repetições de cada uma das sete modalidades. Antes de se realizar o corte, fez-se o registo fotográfico do conjunto das três repetições (fotografias na parte dos anexos) e por fim, um registo fotográfico (figura 8) de um conjunto de sete repetições (uma de cada modalidade) de forma a verificarmos a homogeneidade das modalidades.

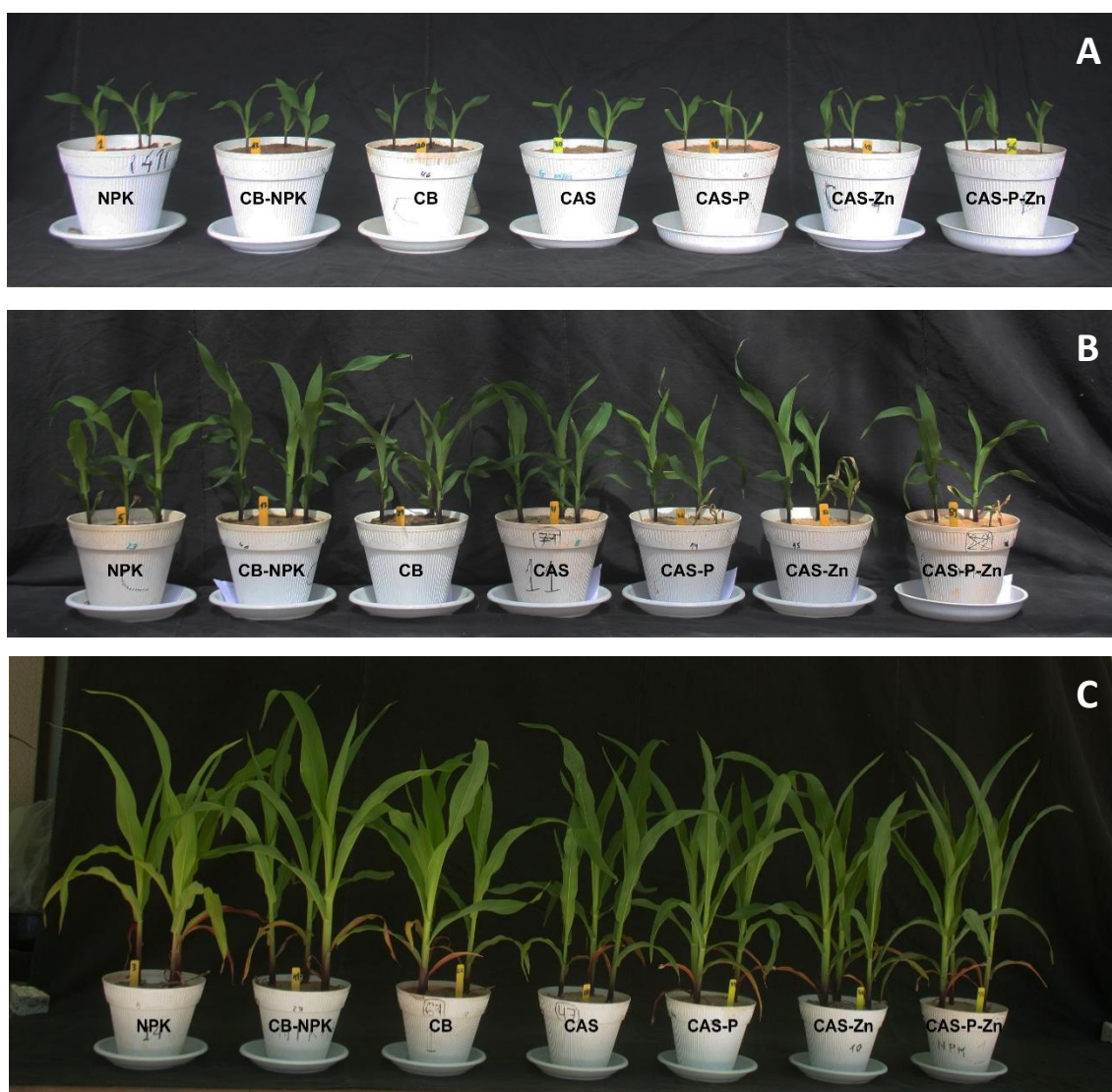


Figura 8 - Registo fotográfico do conjunto de sete repetições (uma de cada modalidade) aos 10 (A), 25 (B) e 40 (C) dias após a germinação.

Após o registro fotográfico, mediu-se a altura da parte aérea de cada planta e de seguida fez-se o seu corte. De seguida fez-se a recolha, limpeza e lavagem das raízes. No final de cada corte, recolheu-se uma amostra de solo de cada vaso para análise físico-química.

Este procedimento foi repetido em três datas distintas. A primeira quantificação foi realizada no dia 20 de março (aos 10 dias após a germinação), o segundo no dia 4 de abril aos (25 dias após a germinação) e por fim, o terceiro no dia 19 de abril (aos 40 dias após a germinação).

## 2 – Métodos analíticos

### 2.1 Caraterísticas do solo

Com o objetivo de se estudarem as caraterísticas do solo no início e no final do ensaio, foram realizadas em laboratório as seguintes análises químicas: pH, condutividade elétrica, matéria seca, azoto mineral (nitrato e amoniacal), fósforo e potássio extraíveis e zinco extraível. As metodologias aplicadas nas análises são apresentadas no Quadro 8.

Quadro 8 - Métodos usados para caraterizar o solo.

Parâmetro	Método Utilizado	Descrição do Método
pH (H <sub>2</sub> O) Condutividade	Método do potenciômetro (razão 1:2,5 (p/v))	(McLean, 1982)
Fósforo e Potássio extraível	Extração com o método de Egnér- Rhien <i>Fósforo</i> : espectrofotômetro de absorção molecular <i>Potássio</i> : Leitura a partir do espectrofotômetro de chama	(Egnér <i>et al.</i> , 1960)
Azoto mineral (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) e fósforo extraível	Extração com o método de CaCl <sub>2</sub> (0,01N) Leitura a partir de auto-analisador de fluxo segmentado	(Houba <i>et al.</i> , 2000) (Mulvaney, 1996)
Zinco extraível	Quantificação por espectrofotometria de absorção atômica após extração com solução de ácido acético 0,5 M	(Lakanen and Ervio, 1971)

## 2.2 Características do chorume

Para o estudo das características do chorume foram determinados em laboratório os seguintes parâmetros: pH, matéria seca e sólidos voláteis, azoto total e amoniacal, fósforo e potássio. No quadro 9 constam os resultados obtidos.

Quadro 9 - Métodos analíticos usados para fazer a caracterização do chorume

Parâmetro	Método Utilizado	Descrição do Método
pH (H <sub>2</sub> O)	Método do potenciômetro (razão 1:2,5 (p/v))	(McLean 1982b)
Matéria seca e sólidos voláteis	Combustão Seca e calcinação	(Fangueiro <i>et al.</i> , 2012)
Azoto total	Digestão com ácido clorídrico (0,1N) e Método de Kjeldhal	(Kalra, 1998)
Azoto amoniacal	Método de Kjeldhal direto	(Moraes and Rabelo, 1986)
Fósforo	Extração pelo Método de Vanadato-Molibdato	(Hanson, 1950)
Potássio	Determinada por espectrofotometria de absorção atômica	(Martí and Muñoz, 1957)

## 2.3 Características da planta (parte aérea e raiz)

No caso das análises realizadas à planta, tanto para a parte aérea como para as raízes, os parâmetros estudados foram o azoto, fósforo e zinco.

As amostras recolhidas (parte aérea e raízes) foram pesadas e de seguida colocadas na estufa a 65°C, durante 3 dias. Após este período, as amostras foram novamente pesadas e posteriormente moídas e enviadas para o laboratório para se realizarem as análises físico-químicas.

No caso das análises de N e P, realizou-se a digestão da matéria seca com ácido sulfúrico (0,05N) e de seguida efetuou-se a leitura das amostras no espectrofotómetro de chama (Kalra, 1998; Martí and Muñoz, 1957). A análise do Zn, também com base na matéria seca, foi feita através da quantificação por espectrofotometria de absorção atômica após extração com uma solução de ácido acético de 0,5M (Lakanen and Ervio, 1971).

### **3 – Cálculos e tratamento estatístico**

#### **3.1 Cálculo da exportação dos nutrientes**

De forma a analisar os dados obtidos relativamente à disponibilidade de azoto, fósforo e zinco, quer da parte aérea como das raízes, foram calculadas as exportações dos nutrientes mencionados na parte aérea, nas raízes e na globalidade da planta. Para este cálculo foram consideradas as produções obtidas de matéria seca (MS) e as concentrações de N, P e Zn nas plantas em cada data considerada após a germinação. Foi considerada a seguinte equação:

$$(1) \textit{Exportação (mg/vaso)} = \textit{MS (g)} \times \textit{Concentração do nutriente (mg/g)}$$

Os resultados das exportações foram expressos em mg/vaso, de modo a facilitar a leitura.

#### **3.2 Tratamento estatístico**

Os dados obtidos foram tratados estatisticamente com o programa Statistix 7, sendo submetidos a uma análise de variância (ANOVA) e, posteriormente, a um teste de comparação das médias utilizando para tal, o teste de Tukey's a 95% de confiança ( $P=0,05$ ) de modo a identificar as diferenças significativas entre os tratamentos aplicados.



## Parte III – Resultados e Discussão

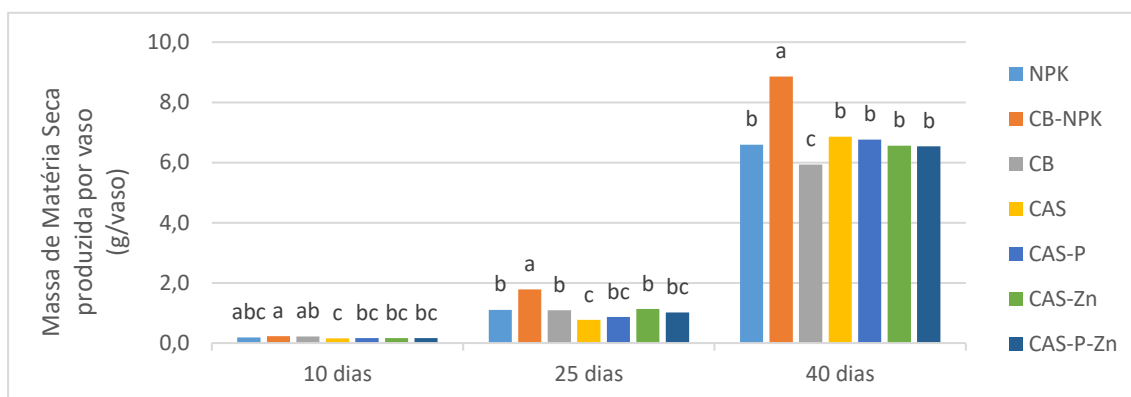
No ensaio experimental foram consideradas sete modalidades, 1) Incorporação de adubo NPK *starter* (NPK), 2) Incorporação de ½ da quantidade de chorume bruto e ½ da quantidade de NPK *starter* (CB-NPK), 3) Incorporação de chorume bruto de bovino (CB), 4) Incorporação de chorume bruto acidificado com ácido sulfúrico (CAS), 5) Incorporação de chorume bruto acidificado com ácido sulfúrico e com adição de fósforo (CAS-P), 6) Incorporação de chorume bruto acidificado com ácido sulfúrico e com adição de zinco (CAS-Zn), 7) Incorporação de chorume bruto acidificado com ácido sulfúrico e com adição de fósforo e zinco (CAS-P-Zn).

### 1 – Produção de milho

#### 1.1 Produção de matéria seca

##### a) Parte aérea

Na figura 9 constam os valores de massa de matéria seca obtidos nas três datas



de contagem.

Figura 9 - Evolução da massa de matéria seca da parte aérea do milho obtida aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada data, valores com letras diferentes são estatisticamente diferente à  $P < 0,05$ .

Na primeira data de amostragem, os tratamentos CAS-P, CAS-Zn e CAS-P-Zn não diferem significativamente entre si.

Relativamente aos 25 dias após a germinação, acentuaram-se as diferenças entre os sete tratamentos. Contudo, as pequenas diferenças produtivas verificadas

anteriormente entre os três tratamentos (CAS-P, CAS-Zn e CAS-P-Zn) mantiveram-se neste período.

Por fim, a análise da figura 12 mostra que no último período de amostragem a produção de matéria seca na modalidade CB-NPK foi significativamente superior às restantes. É ainda notória a homogeneidade produtiva entre o tratamento NPK e os tratamentos CAS, CAS-P, CAS-Zn e CAS-P-Zn.

Na produção de MS, a acidificação apenas teve um efeito significativamente superior ao fim dos 40 dias após a germinação. Nas outras datas de amostragem foi a modalidade CB a que apresentou as maiores quantidades de MS produzida, comparativamente com a modalidade CAS.

Relativamente à produção da modalidade CB-NPK, esta apresentou resultados semelhantes à modalidade CB nos primeiros 10 dias de crescimento. Contudo, aos 25 e aos 40 dias, a produção de MS obtida pela modalidade CB-NPK foi significativamente superior à modalidade CB.

No que se refere à produção de MS obtidas pelas modalidades CAS-P, CAS-Zn e CAS-P-Zn, não se verificaram diferenças significativas entre elas. Estas modalidades apresentaram ao longo do ensaio experimental valores semelhantes à modalidade NPK, sugerindo que a substituição do adubo por chorume enriquecido com P e/ou Zn poderá ser uma boa alternativa.



## b) Raízes

Na figura 10 podem ser observados os valores da massa de matéria seca produzidas nas raízes ao longo dos três períodos de amostragem considerados.

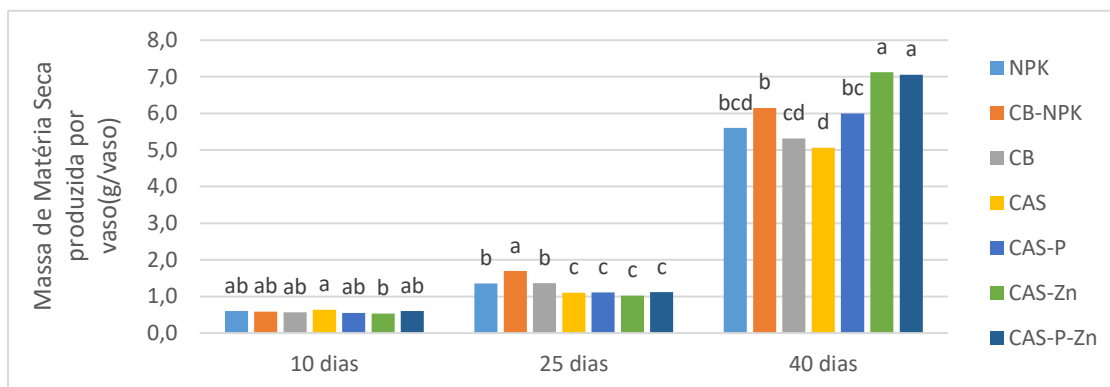


Figura 10 - Evolução da massa de matéria seca das raízes do milho obtida em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada data, valores com letras diferentes são estatisticamente diferente à  $P < 0,05$ .

Nos primeiros 10 dias após a germinação não se verificaram diferenças significativas entre as sete modalidades, exceto entre o tratamento CAS e CAS-Zn, onde foi obtida a maior produção de matéria seca.

Já aos 25 dias após a germinação, foi observada uma homogeneidade entre os tratamentos CAS-P-Zn com chorume acidificado juntamente com a adição de P e Zn. Tal como ocorreu na produção da parte aérea, a segunda modalidade mostra um aumento acentuado na sua produção, diferindo significativamente ( $p < 0,05$ ) das restantes.

No que diz respeito aos 40 dias após a germinação, a análise da figura 13 mostra que se acentuaram diferenças entre as primeiras cinco modalidades e as duas últimas, sendo que foi nestas duas modalidades onde se obtiveram as maiores produções.

Tal como se verificou na produção de MS pela parte aérea, também nas raízes, o efeito da acidificação só é significativo na primeira data de amostragem, apresentando valores de MS superiores aos da modalidade CB. Aos 25 e aos 40 dias após a germinação, a produção na modalidade CB é superior à modalidade CAS, desvalorizando o efeito da acidificação do chorume.

Ao comparar as produções da modalidade CB-NPK com a CB, pode-se observar que apenas na primeira data de amostragem é que os valores não apresentaram diferenças significativas. Aos 25 e aos 40 dias após a germinação, a modalidade CB-NPK apresentou valores significativamente superiores aos da modalidade CB, situação semelhante à da produção de MS da parte aérea.

Aos 10 e aos 25 dias de crescimento, não se verificaram diferenças nas produções obtidas com a adição de P e/ou Zn. Porém, aos 40 dias após a germinação, os valores apresentados pelas modalidades CAS-Zn e CAS-P-Zn são significativamente superiores aos da modalidade CAS-P. Com este resultado verificamos que a adição de Zn ao chorume poderá ser uma forma eficiente de estimular o crescimento radicular do milho.

### c) Global da planta

A figura 11 apresenta os valores de matéria seca produzida pela planta, em termos globais. Estes valores são o resultado da adição das quantidades obtidas na parte aérea e raízes em cada data de amostragem.

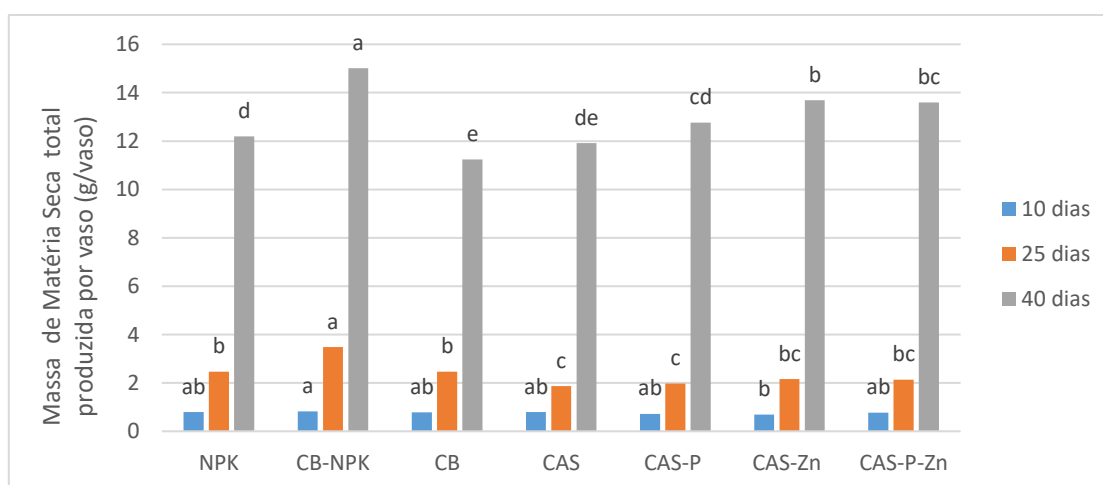


Figura 9 – Evolução da matéria seca total das plantas de milho obtida em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada data, valores com letras diferentes são estatisticamente diferente à  $P < 0,05$ .

A produção da primeira data de amostragem relativamente à modalidade CB e CAS, não apresentou diferenças significativas. Contudo, aos 25 dias de crescimento a produção de MS foi significativamente superior na modalidade CB, relativamente à modalidade CAS. Apenas na terceira data de amostragem é que o efeito da acidificação foi notável, já que a modalidade CAS obteve valores de MS produzida superiores aos da modalidade CB.

Aos 10 dias após a germinação, as modalidades CB-NPK e CB apresentaram valores de MS semelhantes. Todavia, aos 25 e aos 40 dias de amostragem, a modalidade CB-NPK obteve valores de MS significativamente superiores à modalidade CB, concluindo-se mais uma vez que a substituição do chorume pelo adubo poderá ser vantajosa para o desenvolvimento inicial da cultura do milho.

Ao longo do ensaio experimental, a modalidade CAS-Zn foi a que obteve os melhores resultados de MS produzida, comparativamente com as modalidades CAS-P e CAS-P-Zn. No entanto, os valores obtidos são semelhantes entre si e próximos dos valores que a modalidade CB-NPK obteve.

## 1.2 Concentração de N, P e Zn na parte aérea

No quadro 10 constam as concentrações médias de azoto, fósforo e zinco na parte aérea das plantas de milho amostradas após 10, 25 e 40 dias da germinação. Os valores são expressos em matéria seca. Foi observada uma diminuição das concentrações médias de nutrientes em todas as modalidades.

Quadro 10 - Concentração de macronutrientes nas plantas de milho aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições.

Nutriente	Dias após germinação	Modalidades						
		NPK	CB-NPK	CB	CAS	CAS-P	CAS-Zn	CAS-P-Zn
N (g N/kg MS)	10	<sup>a</sup> 53,73 <sup>ab</sup>	42,44 <sup>c</sup>	41,65 <sup>c</sup>	55,82 <sup>a</sup>	49,70 <sup>b</sup>	35,92 <sup>d</sup>	50,41 <sup>ab</sup>
	25	41,34 <sup>a</sup>	38,37 <sup>ab</sup>	33,23 <sup>cd</sup>	35,70 <sup>bc</sup>	31,81 <sup>d</sup>	30,98 <sup>d</sup>	32,83 <sup>cd</sup>
	40	17,84 <sup>ab</sup>	18,64 <sup>ab</sup>	16,84 <sup>ab</sup>	22,85 <sup>a</sup>	20,56 <sup>ab</sup>	12,45 <sup>b</sup>	24,11 <sup>ab</sup>
P (g P/kg MS)	10	20,79 <sup>ab</sup>	17,41 <sup>b</sup>	9,87 <sup>c</sup>	19,39 <sup>ab</sup>	22,95 <sup>ab</sup>	17,20 <sup>b</sup>	25,64 <sup>a</sup>
	25	16,63 <sup>a</sup>	17,38 <sup>a</sup>	8,66 <sup>b</sup>	11,62 <sup>b</sup>	15,57 <sup>a</sup>	10,66 <sup>b</sup>	16,38 <sup>a</sup>
	40	11,79 <sup>ab</sup>	12,04 <sup>ab</sup>	7,79 <sup>c</sup>	9,91 <sup>abc</sup>	12,17 <sup>ab</sup>	8,73 <sup>bc</sup>	12,70 <sup>a</sup>
Zn (mg Zn/kg MS)	10	59,2 <sup>a</sup>	56,3 <sup>a</sup>	37,1 <sup>b</sup>	42,6 <sup>b</sup>	38,7 <sup>b</sup>	37,9 <sup>b</sup>	35,9 <sup>b</sup>
	25	62,2 <sup>a</sup>	43,3 <sup>b</sup>	34,0 <sup>d</sup>	35,7 <sup>cd</sup>	34,3 <sup>d</sup>	39,3 <sup>c</sup>	36,7 <sup>cd</sup>
	40	33,6 <sup>a</sup>	23,7 <sup>bc</sup>	21,8 <sup>c</sup>	31,7 <sup>a</sup>	18,5 <sup>d</sup>	25,5 <sup>b</sup>	21,1 <sup>cd</sup>

<sup>a</sup> Em cada linha, valores seguidos da mesma letra não são estatisticamente diferentes ( $P < 0,05$ ).

Relativamente às concentrações de N aos 10 dias, é possível verificar uma concentração média mais elevada na parte aérea das plantas obtidas no tratamento

CAS. Os tratamentos onde o chorume não foi tratado diferem estatisticamente ( $P < 0,05$ ) dos restantes, obtendo-se uma menor exportação do macronutriente.

Ao fim de 25 dias de crescimento, os tratamentos NPK e CB-NPK destacaram-se positivamente dos restantes, apresentando concentrações de N superiores, diferindo estatisticamente dos tratamentos com chorume tratado. Das modalidades com chorume acidificado, o tratamento CAS foi aquele onde se obteve maiores concentrações do macronutriente em questão.

No último período de crescimento, verifica-se uma maior homogeneidade entre as modalidades. No entanto, a modalidade CAS destaca-se positivamente das restantes pois foi onde se obteve o valor de concentração de N mais elevado. À semelhança do que ocorreu aos 10 e aos 25 dias após a germinação, também aos 40 dias, a concentração média mais baixa foi registada no tratamento CAS-Zn.

Quanto às concentrações médias de fósforo nos primeiros 10 dias de crescimento, foram registados os valores mais elevados no tratamento CAS-P-Zn. As modalidades CB-NPK e CB são as que diferem significativamente das restantes e onde foram obtidas as menores concentrações médias de P.

Contudo na segunda data de amostragem, verificou-se uma maior homogeneidade nas modalidades. Ao contrário do que ocorreu aos 10 dias após a germinação, na modalidade CB-NPK foi onde se verificou a maior concentração de P. No entanto, o tratamento CB continua a ser aquele com valores mais baixos.

Ao fim de 40 dias de crescimento, à semelhança do que se verificou nos primeiros 10 dias, o tratamento CAS-P-Zn mostrou valores superiores aos restantes tratamentos, diferindo estatisticamente destes. Os tratamentos NPK, CB-NPK e CAS-P não diferem significativamente entre si. Mais uma vez, no tratamento CB foi onde se verificou o menor valor.

Referente ao zinco, no primeiro período após a germinação, o tratamento NPK permitiu obter maiores concentrações deste nutriente nas plantas. Contudo, nesta data de amostragem verificou-se uma grande homogeneidade entre os tratamentos CB e aqueles onde o chorume foi acidificado.

Em relação aos 25 dias de crescimento, verificou-se uma situação diferente de todos os outros nutrientes, nomeadamente na modalidade NPK, CAS-Zn e CAS-P-Zn, uma vez que os valores obtidos neste período foram superiores aos do primeiro. Aqui observou-se uma menor homogeneidade entre os tratamentos, principalmente entre as duas primeiras modalidades e as restantes.

Por último, no terceiro período de amostragem os valores das concentrações deste micronutriente voltaram a diminuir em todas as modalidades. Tal como nas duas primeiras datas, os valores do tratamento NPK mostraram-se superiores a todos os outros.

Ao longo do ensaio experimental, a modalidade CAS foi mais eficiente do que a modalidade CB uma vez que as concentrações de N, P e Zn em todas as datas de amostragem foram estatisticamente superiores.

Aos 10 dias após a germinação, a modalidade CB-NPK não apresentou concentrações de N estatisticamente diferentes relativamente à modalidade CB. Contudo, nas restantes datas de amostragem, bem como nas outras concentrações de P e Zn, a modalidade CB-NPK apresentou valores significativamente superiores à modalidade CB. Face aos resultados observados, constata-se que a modalidade CB-NPK é mais eficiente do que a CB, podendo ser considerada como uma alternativa ao adubo.

A modalidade CAS-P-Zn apresentou valores estatisticamente superiores às modalidades CAS-P e CAS-Zn mostrando-se mais eficiente do que estas no que se refere à obtenção de concentrações de N, P e Zn.

#### 1.4 Concentração de N, P e Zn nas raízes

As concentrações de azoto, fósforo e zinco em cada data expressas no teor de matéria seca das raízes do milho apresentam-se no quadro 11. Com exceção de algumas modalidades, a concentração média ao longo dos três períodos de crescimento foi superior no segundo, relativamente ao primeiro, voltando a diminuir aquando do último.

Quadro 11 - Concentração de macronutrientes nas plantas de milho aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições.

Nutriente	Dias após germinação	Modalidades						
		NPK	CB-NPK	CB	CAS	CAS-P	CAS-Zn	CAS-P-Zn
N (g N/kg MS)	10	21,19 <sup>a</sup>	21,20 <sup>a</sup>	20,16 <sup>a</sup>	7,26 <sup>b</sup>	12,33 <sup>a</sup>	11,02 <sup>a</sup>	10,99 <sup>a</sup>
	25	21,62 <sup>a</sup>	22,67 <sup>a</sup>	22,34 <sup>a</sup>	17,60 <sup>a</sup>	6,48 <sup>b</sup>	12,89 <sup>a</sup>	10,61 <sup>a</sup>
	40	6,56 <sup>b</sup>	6,51 <sup>b</sup>	6,58 <sup>b</sup>	8,58 <sup>a</sup>	8,13 <sup>b</sup>	6,98 <sup>b</sup>	7,29 <sup>b</sup>
P (g P/kg MS)	10	6,61 <sup>a</sup>	7,21 <sup>a</sup>	4,81 <sup>a</sup>	5,61 <sup>a</sup>	6,60 <sup>a</sup>	5,56 <sup>a</sup>	6,04 <sup>a</sup>
	25	8,23 <sup>a</sup>	8,15 <sup>a</sup>	5,33 <sup>a</sup>	6,45 <sup>a</sup>	6,42 <sup>a</sup>	5,91 <sup>a</sup>	6,33 <sup>a</sup>
	40	6,55 <sup>a</sup>	7,57 <sup>a</sup>	4,71 <sup>a</sup>	5,73 <sup>a</sup>	6,40 <sup>a</sup>	6,15 <sup>a</sup>	6,16 <sup>a</sup>
Zn (mg Zn/kg MS)	10	24,8 <sup>b</sup>	19,6 <sup>b</sup>	16,3 <sup>ab</sup>	8,1 <sup>b</sup>	8,5 <sup>b</sup>	8,3 <sup>b</sup>	7,8 <sup>c</sup>
	25	55,8 <sup>a</sup>	43,8 <sup>a</sup>	21,6 <sup>a</sup>	20,7 <sup>a</sup>	6,4 <sup>c</sup>	19,3 <sup>a</sup>	13,2 <sup>b</sup>
	40	61,3 <sup>a</sup>	27,7 <sup>b</sup>	14,2 <sup>b</sup>	21,6 <sup>a</sup>	22,5 <sup>a</sup>	27,9 <sup>a</sup>	28,5 <sup>a</sup>

\*<sup>a</sup> Em cada linha, valores seguidos da mesma letra não são estatisticamente diferentes ( $P < 0,05$ ).

No que se refere ao primeiro período de amostragem, a concentração de N foi bastante superior nos tratamentos onde não houve qualquer tipo de tratamento realizado ao chorume (NPK, CB-NPK e CB). Contudo, apenas o tratamento CAS difere significativamente dos restantes.

Aos 25 dias após a germinação, a homogeneidade entre as modalidades mantém-se semelhante, bem como a superioridade das concentrações obtidas nas modalidades NPK, CB-NPK e CB. Contudo, neste caso, o tratamento CAS-P é o que difere estatisticamente dos outros. Até este período, a modalidade que obteve os valores mais altos de N exportado foi a CB-NPK.

Como referido anteriormente, após os 45 dias de crescimento, os valores das concentrações de azoto diminuem, comparativamente ao período anterior. Verifica-se uma homogeneidade, tal como ocorreu nos períodos prévios, sendo que a exceção volta a ser o tratamento CAS, onde se obteve a maior concentração de N.

Observando as linhas que se referem às concentrações de P nas três datas observa-se uma homogeneidade para todas as modalidades, ou seja, não foram obtidos valores estatisticamente diferentes entre si. Neste caso, apenas no tratamento CAS-P foi observada uma diminuição gradual das concentrações de P ao longo do ensaio.

Ao contrário do que se observa no tratamento referido anteriormente, no tratamento CAS-Zn ocorreu o inverso, isto é, ao longo do ensaio experimental houve um aumento progressivo das concentrações do elemento. Nas restantes modalidades observou-se a mesma situação que as concentrações de N, onde os valores foram superiores no segundo período de amostragem, voltando a baixar no último.

Em relação aos primeiros 10 dias, verifica-se que o valor mais baixo corresponde ao tratamento CAS-P-Zn, sendo também este que difere significativamente dos restantes. À semelhança do que se verificou nas concentrações do nutriente em questão na parte aérea, os valores obtidos nas modalidades NPK e CB-NPK mostram-se superiores aos outros.

Nos 25 dias após a germinação, os tratamentos CAS-P e CAS-P-Zn diferem significativamente dos outros, apresentando os valores de concentrações mais baixas. Por último, verifica-se uma alteração na homogeneidade das modalidades aos 40 dias após a germinação, já que os tratamentos que não diferem entre si são aqueles onde o chorume não foi tratado (NPK e CB-NPK). Tal como nos outros períodos de amostragem, a modalidade NPK foi onde as concentrações de Zn foram as mais altas.

Verifica-se também que o incremento na disponibilidade dos nutrientes, nas modalidades com chorume tratado, apenas se torna mais relevante numa fase mais tardia do ensaio experimental. Todavia, segundo Peterson *et al.*, 2003, a acidificação é um processo vantajoso no que se refere à disponibilidade dos nutrientes no início do desenvolvimento da cultura e, como tal, o chorume acidificado pode ser considerado como um bom adubo com efeito *starter*, aumentando assim o seu valor fertilizante.

Dentro das modalidades onde o chorume foi tratado, a CAS foi a que apresentou os melhores resultados, principalmente a partir dos 25 dias após a germinação.

As concentrações de N e de Zn presentes nas raízes obtidas pela modalidade CAS foram estatisticamente superiores às da modalidade CB apenas aos 40 dias após a germinação. Nas duas primeiras datas de amostragem, a modalidade CB mostrou ser mais eficiente do que a modalidade CAS. Relativamente às concentrações de P, estas foram sempre superiores na modalidade CAS, comparando com a modalidade CB, apesar de serem valores estatisticamente iguais.

Nas três datas de contagem, não se obtiveram concentrações estatisticamente diferentes, no que se refere aos valores obtidos com a modalidade CB-NPK e CB. Contudo, a modalidade CB-NPK apresentou valores superiores, mostrando ser mais eficiente do que a CB.

A adição de P e/ou Zn não teve um efeito significativo nas concentrações de N, P ou Zn presentes nas raízes, uma vez que face aos resultados obtidos observa-se que no geral são todos estatisticamente iguais. No entanto, no caso da modalidade CAS-P, esta obteve valores de P superiores às modalidades CAS-Zn e CAS-P-Zn.



## 2 – Exportação de nutrientes pelas plantas

### 2.1 Azoto

#### a) Parte aérea

Na figura 12 podem ser verificadas as exportações da parte aérea de azoto realizadas pelo milho em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação.

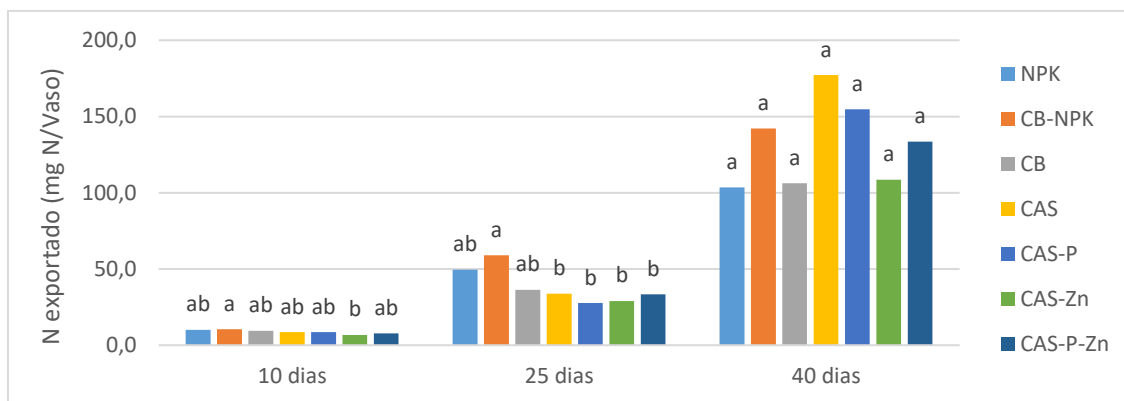


Figura 102 - Exportação de azoto pela parte aérea das plantas de milho em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada data, valores com letras diferentes são estatisticamente diferente à  $P < 0,05$ .

Nos primeiros 10 dias de crescimento verificaram-se diferenças significativas entre as exportações médias de azoto nas plantas obtidas nos seguintes tratamentos: CB-NPK e CAS-Zn, enquanto na modalidade NPK, CB, CAS, CAS-P e CAS-P-Zn originaram valores semelhantes tanto ao CB-NPK como ao CAS-Zn. Este último tratamento originou as menores exportações de N, devido à menor produção de matéria seca que proporcionou.

No que se refere ao segundo período de crescimento, a aplicação de chorume acidificado (CAS) deu origem às menores exportações de N. O tratamento CB-NPK mostrou valores significativamente superiores aos restantes.

Já aos 40 dias após a germinação, não foram obtidos valores estatisticamente diferentes entre os tratamentos. No entanto, pode-se observar que a modalidade CAS obteve valores superiores às modalidades NPK, CB e CAS-Zn.

Aos 10 e aos 25 dias após a germinação, não se verificaram diferenças estatisticamente significativas em relação aos valores de N exportado por parte das

modalidades CB e CAS. Porém, aos 40 dias de amostragem, a modalidade CAS mostrou ser mais eficiente do que a modalidade CB já que obteve valores de N exportado superiores.

Ao longo das três datas de amostragem, os valores de N exportado pela modalidade CB-NPK foram sempre significativamente superiores aos da modalidade CB, concluindo-se que o chorume combinado com um adubo poderá ser uma alternativa favorável ao agricultor.

Nos dois primeiros períodos de contagem, as modalidades CAS-P, CAS-Zn e CAS-P-Zn apresentaram valores estatisticamente iguais, apesar dos valores obtidos pela modalidade CAS-P-Zn terem sido maiores do que os restantes. Já no último período de amostragem, a modalidade CAS-P destacou-se significativamente das restantes, mostrando ser mais eficiente do que as modalidades CAS-Zn e CAS-P-Zn no que se refere à exportação de N pela parte aérea da planta.

## b) Raízes

Na figura 13 podem ser observados os valores de azoto exportado pelas raízes do milho em cada modalidade e em cada período de crescimento.

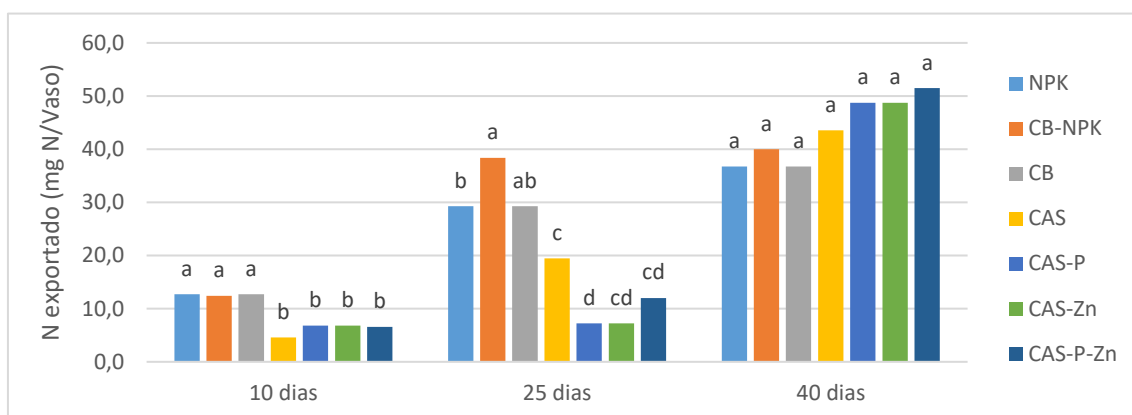


Figura 13 - Exportação de azoto pelas raízes de milho em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada data, valores com letras diferentes são estatisticamente diferente à  $P < 0,05$ .

A menor exportação de N nos primeiros 10 dias de crescimento foi observada no tratamento CAS, verificando-se uma homogeneidade entre os tratamentos CAS, CAS-P, CAS-Zn e CAS-P-Zn, tal como se sucedeu na exportação do nutriente na parte aérea. Os valores de N exportado foram mais altos nas três primeiras modalidades, onde não se procedeu à acidificação do chorume.

A partir dos 25 dias após a germinação, como se observa na figura 16, a exportação deste nutriente foi significativamente superior nos tratamentos NPK, CB-NPK e CB. À semelhança do que ocorreu na parte aérea, os valores mais altos foram obtidos na modalidade CB-NPK.

Mais uma vez, na terceira data de amostragem não se verificaram valores estatisticamente diferentes entre os vários tratamentos. Todavia, pode-se constatar que as modalidades CAS-P, CAS-Zn e CAS-P-Zn obteve valores superiores às modalidades NPK e CAS.

Aos 10 e aos 25 dias após a germinação, a modalidade CB mostrou ser significativamente mais eficiente na exportação de N pelas raízes, comparativamente à modalidade CAS. Já aos 40 dias de amostragem, não existem diferenças estatísticas

apesar dos valores obtidos pela modalidade CAS serem superiores aos da modalidade CB.

Na primeira data de amostragem, as modalidades CB-NPK e CB apresentaram valores estatisticamente semelhantes. A partir dos 25 dias de amostragem, a modalidade CB-NPK foi a mais eficiente na exportação de N, comparativamente à modalidade CB, já que foi a que obteve valores significativamente superiores. Tal como ocorre na exportação pela parte aérea, aos 40 dias após a germinação, não existem diferenças estatisticamente significativas entre as modalidades CB-NPK e CB. Contudo, é possível verificar que a modalidade CB-NPK obteve valores de N exportado superiores à CB.

No que se refere à exportação de N obtida pelas modalidades CAS-P, CAS-Zn e CAS-P-Zn, não se verificaram diferenças significativas aos 10 dias após a germinação. Contudo e apesar de serem valores estatisticamente semelhantes, a exportação de N obtida pela modalidade CAS-P-Zn foi superior quando comparada com as modalidades CAS-P e CAS-Zn, tanto aos 25 como aos 40 dias após a germinação, mostrando um efeito positivo na adição combinada de P e Zn ao chorume.

### c) Totalidade da planta

Na figura 14 são apresentados os valores da exportação global de azoto que resultam da soma das quantidades obtidas pela parte aérea e pelas raízes.

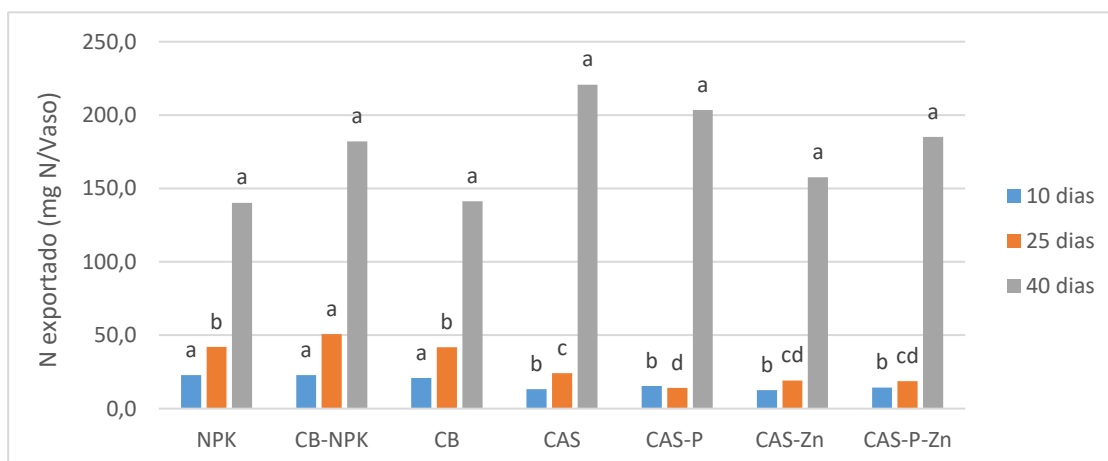


Figura 14 - Exportação global de azoto pela planta total (raiz e parte aérea) em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada data, valores com letras diferentes são estatisticamente diferente à  $P < 0,05$ .

Até aos 25 dias de crescimento, as quantidades de N exportado são menores nos tratamentos onde o chorume foi acidificado, verificando-se uma homogeneidade entre os mesmos. Assim, nesta fase inicial dos 25 dias de desenvolvimento da cultura a modalidade que se destacou foi a CB-NPK. Debele *et al.* (2000) observaram que a aplicação de chorume enriquecido, isoladamente ou em conjunto com outros fertilizantes, permitiu uma melhoria na absorção de certos nutrientes. Apesar do teor de carbono orgânico ter diminuído, observou-se um aumento do teor de N disponível.

Todavia, no terceiro período de crescimento as exportações de N nas modalidades com chorume tratado aumentaram significativamente, sendo a modalidade CAS a que apresentou os melhores resultados.

Tal como se verificou na exportação de N quer pela parte aérea quer pelas raízes, a modalidade CAS apenas é mais eficiente ao fim dos 40 dias após a germinação, comparando com a modalidade CB. Nas primeiras datas de amostragem, a modalidade CB foi a mais eficaz na exportação de N pois obteve valores significativamente superiores aos da modalidade CAS.

Ao comparar os valores de N azoto exportado pelas modalidades CB-NPK e CB, verifica-se que apenas no segundo período de crescimento é que as quantidades obtidas pela modalidade CB-NPK são estatisticamente superiores às da modalidade CB.

Em cada data de amostragem, as quantidades de N exportado obtidas pelas modalidades CAS-P, CAS-Zn e CAS-P-Zn não foram estatisticamente diferentes umas das outras. Todavia, aos 40 dias de amostragem, pode-se constatar um efeito positivo da adição de P ao chorume, uma vez que a modalidade CAS-P obteve valores superiores às modalidades CAS-Zn e CAS-P-Zn.

## 2.2 Fósforo

### a) Parte aérea

Na figura 15 constam os valores de fósforo exportado pela parte aérea do milho em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação.

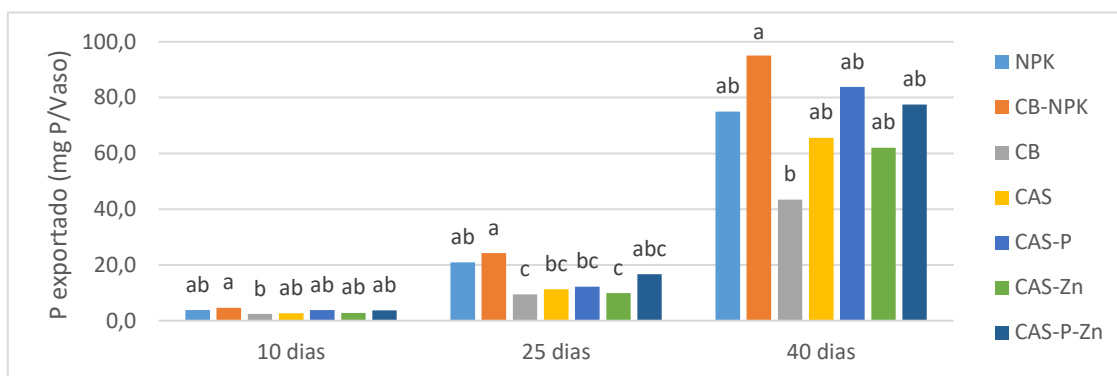


Figura 15 - Exportação de fósforo pela parte aérea da planta de milho em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada data, valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes à  $P < 0,05$ .

Os valores obtidos com CB-NPK e CB diferem estatisticamente dos restantes tratamentos, sendo que no segundo os valores de P exportado obtidos foram os mais elevados. Verificou-se também uma homogeneidade nos restantes tratamentos.

Aos 25 dias de crescimento, os valores mais altos mantêm-se na modalidade CB-NPK, contudo observou-se uma maior disparidade entre este tratamento e o CB. Este último apresentou os valores de P exportado mais baixos relativamente às restantes modalidades. Os tratamentos onde se acidificou o chorume apresentam valores estatisticamente semelhantes.

Já no terceiro período de amostragem torna-se a verificar a situação que ocorreu no primeiro, onde a modalidade CB-NPK e a CB diferem entre si e dos restantes, mantendo-se a superioridade do tratamento CB-NPK.

As modalidades CB e CAS apresentaram, ao longo do ensaio experimental, valores de P exportado estatisticamente iguais. Porém, aos 40 dias de crescimento, a modalidade CAS mostrou ser mais eficiente do que a CB pois verifica-se que obteve valores superiores.

A modalidade CB-NPK quando comparada com a modalidade CB, apresenta valores estatisticamente superiores. Face ao exposto, ao longo de todo o ensaio experimental, a modalidade CB-NPK foi a mais eficiente na exportação de P.

Ao longo dos três períodos de crescimento, não se verificou um efeito significativo da adição de P e/ou Zn ao chorume, já que as quantidades de P exportado pelas modalidades CAS-P, CAS-Zn e CAS-P-Zn não foram estatisticamente diferentes.

## b) Raízes

Os valores de fósforo exportado pelas raízes do milho obtidos em cada data de amostragem e em cada modalidade são apresentados na figura 16.

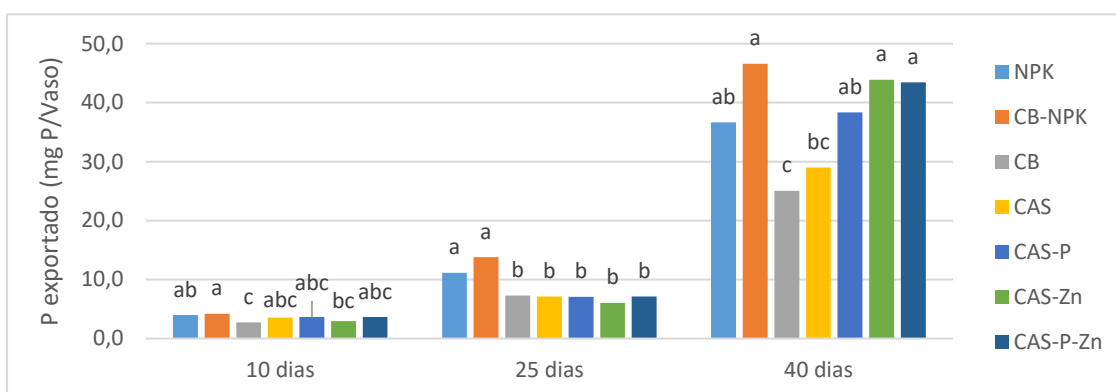


Figura 16 - Exportação de fósforo pelas raízes de milho em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada data, valores com letras diferentes são estatisticamente diferente à  $P < 0,05$ .

Tal como ocorreu na parte aérea, a exportação de P foi menor no tratamento CB e maior no CB-NPK. Nas restantes modalidades, os valores obtidos são estatisticamente semelhantes entre si. No entanto, verifica-se que nos tratamentos onde se procedeu à acidificação do chorume os valores de P exportado são inferiores relativamente aos tratamentos onde o chorume não foi tratado, com exceção do tratamento CB.

Em relação à segunda data de amostragem, podemos observar que os valores obtidos nos tratamentos NPK e CB-NPK são estatisticamente superiores aos tratamentos com chorume acidificado, havendo uma homogeneidade nestes últimos referidos. Mais uma vez, a modalidade CB-NPK foi a que obteve valores de P exportado superiores a todas as outras.

Por fim, na terceira data de amostragem, a homogeneidade já não é tão evidente. Os tratamentos CB-NPK, CAS-Zn e CAS-P-Zn foram os que apresentaram os valores mais altos de P exportado, não diferindo estatisticamente entre si.

Num estudo realizado por Basavaraj e Manjunthaiah (2003), foi descoberto que a aplicação de chorume enriquecido com P teve um efeito significativo na produtividade dos grãos de milho, representando um aumento de 27,5% em relação à testemunha.

As restantes modalidades (NPK, CAS e CAS-P) são semelhantes às modalidades referidas acima. A exceção verifica-se com a modalidade CB, cujos valores são estatisticamente diferentes dos restantes e os mais baixos observados.

Aos 10 e aos 40 dias após a germinação, a modalidade CAS apresentou valores estatisticamente superiores à modalidade CB, mostrando-se mais eficiente na exportação de P. No entanto, no segundo período de crescimento ambas as modalidades apresentaram valores de P exportado estatisticamente iguais.

O efeito da adição de P e/ou Zn foi mais visível apenas aos 40 dias de crescimento, onde as modalidades CAS-Zn e CAS-P-Zn apresentaram valores significativamente superiores à modalidade CAS-P. Aos 10 e aos 25 dias de amostragem, nas três modalidades mencionadas os valores de P exportado pelas raízes foram estatisticamente semelhantes.



### c) Totalidade da planta

Os valores da exportação global de fósforo constam na figura 17. Estes valores são o resultado da adição das quantidades obtidas pela parte aérea e raízes.

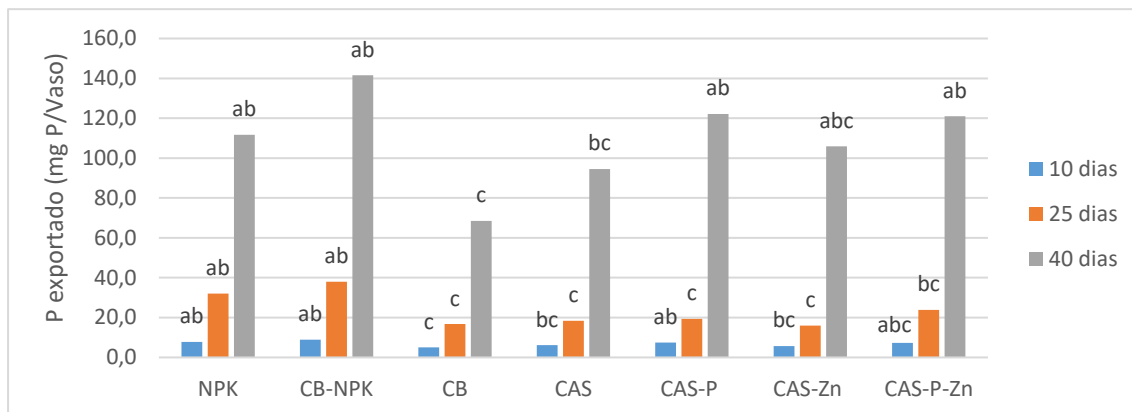


Figura 1711 - Exportação global de fósforo pela planta total (raiz e parte aérea) em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada data, valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes à  $P < 0,05$ .

Nos três períodos de crescimento, os valores de P exportado pela planta obtidos nas modalidades CB e CAS não foram estatisticamente diferentes. No entanto, observando a figura 17 é possível constatar que a modalidade CAS foi mais eficiente do que a modalidade CB já que os valores apresentados são superiores.

Ao comparar as exportações de P apresentadas pelas modalidades CB e CB-NPK, pode-se constatar que, ao longo do ensaio experimental, a modalidade CB-NPK foi aquela que mostrou mais eficiência na quantidade de P exportada, obtendo valores estatisticamente superiores aos da modalidade CB.

Aos 10, 25 e 40 dias após a germinação, as modalidades CAS-P, CAS-Zn e CAS-P-Zn apresentaram valores de P exportado estatisticamente semelhantes. No entanto, pela observação da figura 16, é possível constatar que o enriquecimento do chorume apenas com P (CAS-P) ou com P e Zn (CAS-P-Zn), permitiu obter valores superiores aos da modalidade CAS-Zn, ou seja, houve um efeito positivo na exportação deste elemento.

## 2.3 Zinco

### a) Parte aérea

Os valores de zinco exportado pela parte aérea do milho em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação constam na figura 18.

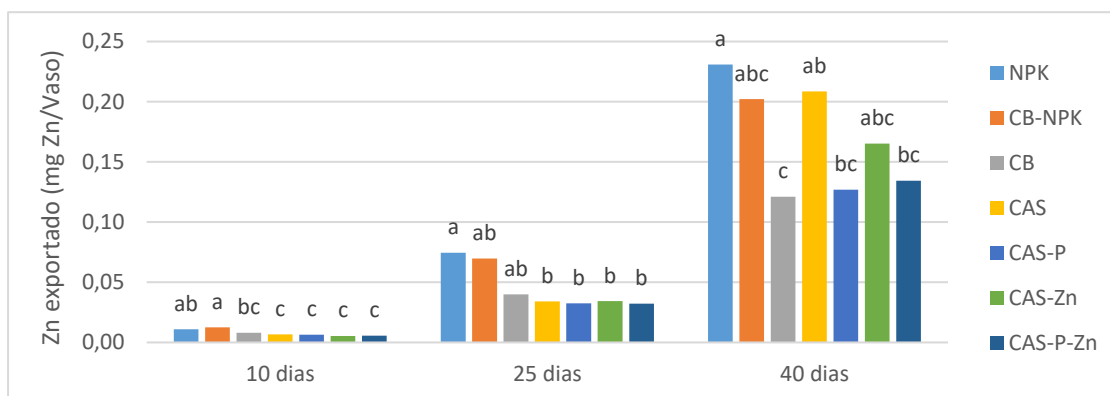


Figura 18 - Exportação de zinco pela parte aérea da planta de milho em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada data, valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes à  $P < 0,05$ .

No primeiro período após a germinação, os valores deste nutriente são mais elevados nas modalidades cujo chorume não foi tratado, havendo alguma semelhança estatística entre elas. A partir da modalidade CAS, ou seja, nas modalidades com chorume acidificado, verifica-se uma homogeneidade e valores de Zn exportado inferiores em relação às modalidades NPK, CB-NPK e CB.

Relativamente ao segundo corte, a modalidade NPK destaca-se positivamente das restantes, seguida da modalidade CB-NPK. Mais uma vez, nos tratamentos com chorume acidificado os valores de Zn exportado foram os mais baixos, não diferindo estatisticamente entre si.

Já na terceira data de amostragem, verifica-se uma maior disparidade de valores entre as modalidades. O tratamento CB difere estatisticamente de todos os outros, tendo obtido os valores mais baixos. Relativamente aos valores de Zn exportado mais altos, estes foram obtidos pela modalidade NPK, tal como ocorreu nos dois primeiros períodos de amostragem. Nesta última data, verificou-se um aumento de Zn exportado obtido com o tratamento CAS.

Apenas no último período de crescimento, à semelhança do que ocorreu nas exportações dos outros nutrientes, a modalidade mais eficiente na exportação de Zn pela parte aérea foi a modalidade CAS, quando comparada com a modalidade CB. Aos 10 e aos 25 dias após a germinação, as modalidades referidas acima apresentaram valores sem diferenças estatísticas significativas.

A modalidade CB-NPK foi mais eficiente do que a modalidade CB na primeira e terceira data de amostragem, no que se refere à exportação de Zn pela parte aérea, já que apresentou valores estatisticamente superiores. No entanto, aos 25 dias de crescimento não se verificaram diferenças significativas entre as mesmas.

Aos 10 e aos 25 dias após a germinação não se verificou um efeito significativo da adição de P e/ou Zn, uma vez que os valores apresentados não são estatisticamente diferentes. Já no terceiro período de amostragem, a modalidade CAS-Zn apresentou quantidades estatisticamente superiores às modalidades CAS-P e CAS-P-Zn.

## b) Raízes

A figura 19 expõe os valores de zinco exportado pelas raízes do milho em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação.

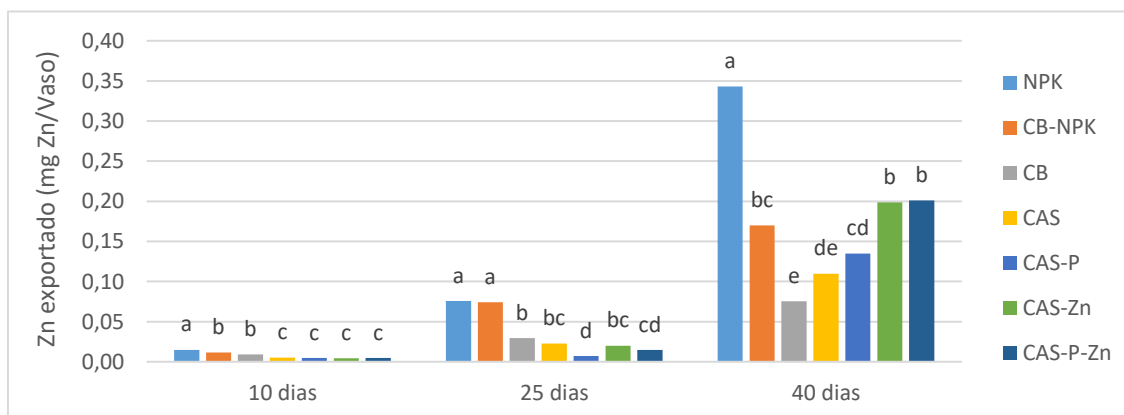


Figura 19 - Exportação de zinco pelas raízes de milho em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada data, valores com letras diferentes são estatisticamente diferente à  $P < 0,05$ .

À semelhança do que se verificou na parte aérea, aos 10 dias após a germinação as modalidades NPK, CB-NPK e CB foram obtidos valores superiores, em relação àquelas onde se procedeu à acidificação do chorume. A modalidade NPK é a que se destaca

positivamente das restantes. Pela observação da figura 19, verifica-se que não existem diferenças significativas entre as modalidades com chorume tratado.

No que se refere ao segundo período de amostragem, nas modalidades NPK e CB-NPK foram obtidos valores de Zn exportado muito superiores às últimas cinco modalidades, diferindo estatisticamente destas. Relativamente às modalidades mencionadas anteriormente, não se verificam diferenças significativas com exceção do tratamento CAS-P, cujos valores foram os mais baixos.

Os valores mais altos obtidos no terceiro período de amostragem foram apresentados com o tratamento NPK, diferindo significativamente das restantes. Neste último período, as modalidades CAS-Zn e CAS-P-Zn foram as que obtiveram os maiores valores, a seguir à modalidade NPK. Verifica-se uma semelhança estatística entre estas duas últimas modalidades mencionadas e a CB-NPK. Num ensaio experimental levado a cabo por Ahmad *et al.* (2010), concluiu-se que a aplicação de chorume enriquecido com Zn apresentou melhores resultados relativamente à aplicação isolada de sulfato de zinco. Este estudo mostrou a importância que a matéria orgânica, fornecida pelo chorume, possui para se atingir uma elevada produtividade da cultura.

Aos 10 dias após a germinação, a modalidade CB obteve valores significativamente superiores aos da modalidade CAS. Assim, face ao exposto, constata-se que a modalidade CB é mais eficiente do que a modalidade CAS. No entanto, aos 25 dias após a germinação verifica-se que os valores de ambas as modalidades são estatisticamente semelhantes. Já aos 40 dias de crescimento, a modalidade CAS foi a mais eficiente, relativamente à modalidade CB, no que se refere à exportação de Zn pelas raízes.

No que se refere à modalidade CB-NPK, esta apenas apresentou valores estatisticamente semelhantes à modalidade CB aos 10 dias de amostragem, apresentando nos outros dois períodos de crescimento uma maior eficiência na exportação de Zn pelas raízes do que a modalidade CB.

O efeito da adição de P e/ou Zn não foi significativo aos primeiros 10 dias de crescimento, observando-se valores estatisticamente semelhantes entre as modalidades CAS-P, CAS-Zn e CAS-P-Zn. Aos 25 dias de amostragem, a adição de Zn

ao chorume mostrou ter um efeito significativo na exportação de Zn, já que a modalidade CAS-Zn apresentou valores significativamente superiores aos da modalidade CAS-P e CAS-P-Zn. No último período de crescimento, constatou-se que a modalidade CAS-Zn e CAS-P-Zn são as mais eficientes na exportação do nutriente em questão.

### c) Totalidade da planta

A figura 19 apresenta os valores de Zn exportados pela planta, em termos globais, resultando da adição das quantidades obtidas pela parte aérea e raízes.

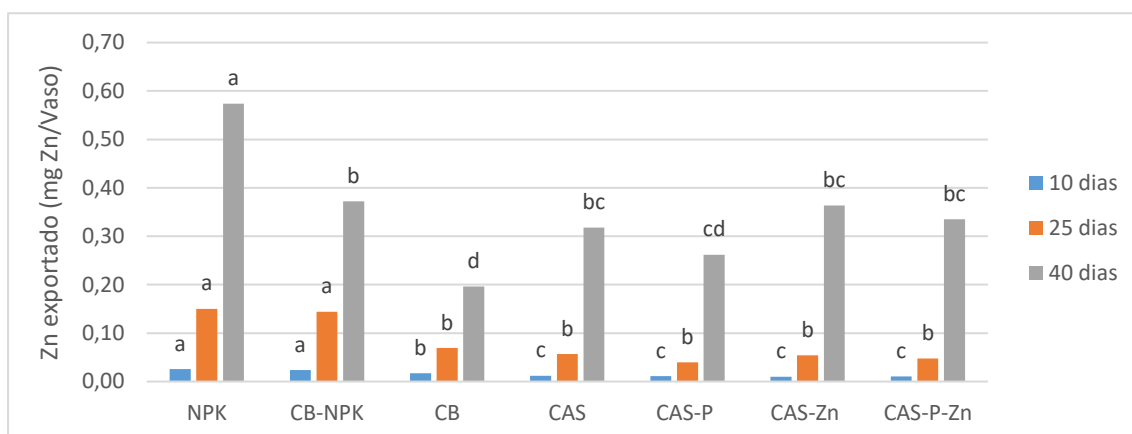


Figura 1912 - Exportação global de zinco pela planta total (raiz e parte aérea) em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada data, valores com letras diferentes são estatisticamente diferente à  $P < 0,05$ .

Ao analisar as exportações dos outros nutrientes, é possível constatar que no caso do Zn, as quantidades conseguidas foram muito inferiores, como já era expetável.

Nas duas primeiras datas de amostragem, não existiram diferenças significativas nos tratamentos com chorume acidificado, apresentando sempre exportações menores relativamente aos restantes tratamentos. O melhor tratamento foi o NPK, seguido do CB-NPK. Contudo, aos 40 dias após a germinação as exportações de Zn pela modalidade CAS aumentaram significativamente, superando as quantidades exportadas pelo tratamento CB-NPK.

Na primeira data de amostragem, a modalidade CB apresentou valores estatisticamente diferentes da modalidade CAS, sendo mais eficiente do que esta na exportação de Zn. Enquanto aos 25 dias após a germinação, estas duas modalidades apresentaram valores estatisticamente iguais, aos 40 dias de crescimento, a

modalidade CAS apresentou uma maior eficiência, relativamente à modalidade CB, com valores significativamente superiores de Zn exportado.

Ao longo das três datas de amostragem, a modalidade CB-NPK foi mais eficiente do que a modalidade CB já que os valores de Zn exportado obtidos foram estatisticamente superiores aos da modalidade CB. Tal como nas exportações dos outros nutrientes, a modalidade CB-NPK apresentou valores superiores às restantes modalidades, indicando que esta poderá ser uma alternativa a considerar pelos agricultores.

Aos 10 e aos 25 dias após a germinação, as modalidades CAS-P, CAS-Zn e CAS-P-Zn não apresentaram diferenças estatísticas significativas. No entanto, no último período de crescimento, as modalidades CAS-Zn e CAS-P-Zn destacaram-se positivamente da modalidade CAS-P. Assim, pode-se constatar que a adição de P e Zn ao chorume apenas tem um efeito na exportação do Zn numa fase mais tardia do crescimento do milho.

### 3 – Análise dos solos

No capítulo seguinte serão analisados alguns parâmetros relativos ao solo, tais como o pH, a condutividade e o fósforo extraível no final do ensaio. Esta análise permitiu incidir sobre os efeitos da aplicação ao solo de chorume não tratado e de chorume acidificado.

#### 3.1. Valores de pH

Na figura 20 constam os valores médios de pH no final do ensaio nas modalidades consideradas e em cada corte.

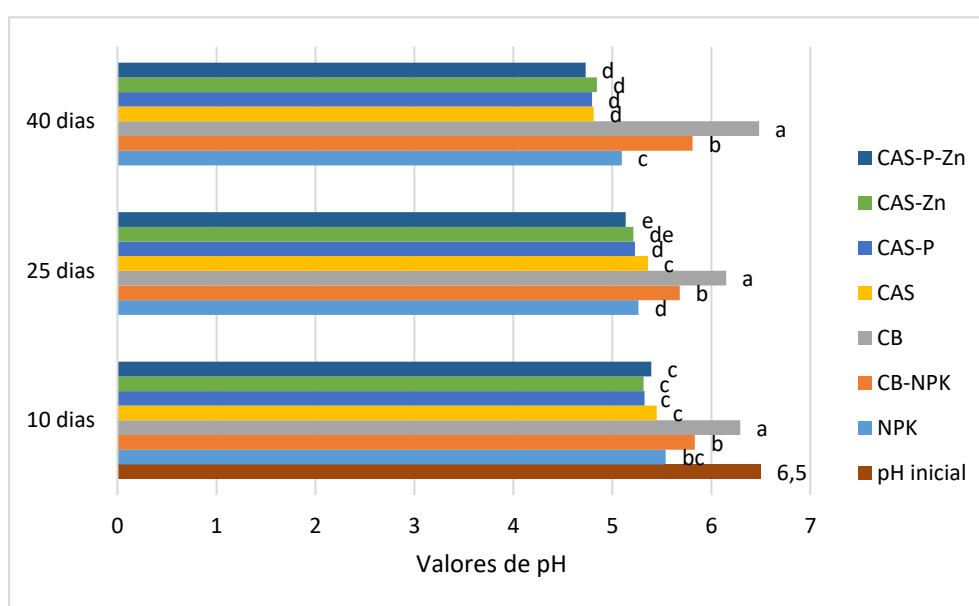


Figura 20 - Variação do pH do solo nas sete modalidades ensaiadas. Valores médios de 3 repetições. Valores com letras diferentes são estatisticamente diferente à  $P < 0,05$ .

Pela observação da figura 20 podemos constatar que nos três períodos de amostragem o tratamento CB foi aquele onde se obteve o pH mais elevado, a variar entre 6,15 e 6,48. Por outro lado, as modalidades onde se procedeu à acidificação foram aquelas onde os valores de pH foram mais baixos. Segundo Regueiro *et al.* (2016), o valor de pH selecionado nos estudos da acidificação de chorume aproxima-se de 5,5. Neste caso, o tratamento CAS foi aquele onde o pH se aproximou mais deste ideal.

À exceção da primeira data de amostragem, nas restantes duas, existiram diferenças significativas na modalidade NPK e CB-NPK, ambas apresentando valores inferiores ao pH inicial. De uma forma geral, os valores de pH do solo foram diminuindo ao longo do ensaio.

A aplicação de chorume ao solo não provoca alterações a nível do pH do solo (Cote e Ndayegamiye, 1989). Facto comprovado com os resultados obtidos com a modalidade CB, cujo pH variou muito próximo do valor inicial (6,5).

### 3.2 Valores de condutividade

Os valores médios da condutividade obtidos aos 10, 25 e 40 dias após a germinação em cada modalidade são apresentados na figura 21.

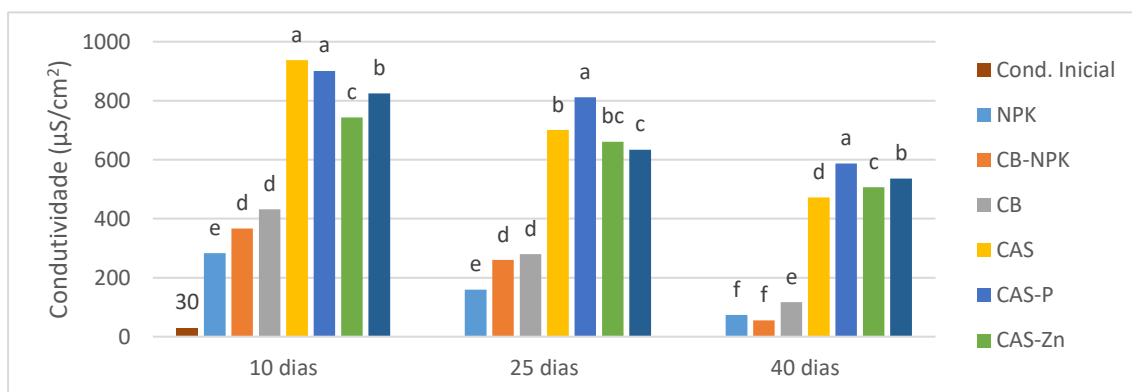


Figura 131 - Variação da condutividade do solo nas sete modalidades ensaiadas. Valores médios de 3 repetições. Valores com letras diferentes são estatisticamente diferente à  $P < 0,05$ .

Observou-se uma maior condutividade nas modalidades cujo chorume foi tratado com ácido sulfúrico, já que a acidificação provoca um aumento da solubilidade dos nutrientes e consequentemente observa-se o aumento deste parâmetro em estudo. Ao longo do ensaio, os valores foram diminuindo, facto observado em todas as modalidades e explicado pelo aumento da produção da planta de milho, ou seja, quanto maior for a produtividade, maior será a necessidade de assimilar os nutrientes e por isso, estes deixam de estar disponíveis no solo e passam a estar presentes na planta. Pode-se ainda mencionar que os valores de condutividade mais elevados foram obtidos nas modalidades CAS e CAS-P.



### 3.3 Fósforo extraível

Na figura 22 constam os valores das concentrações de fósforo extraível pelo método de Egnér-Riehm no solo nas sete modalidades ao longo das três datas de amostragem.

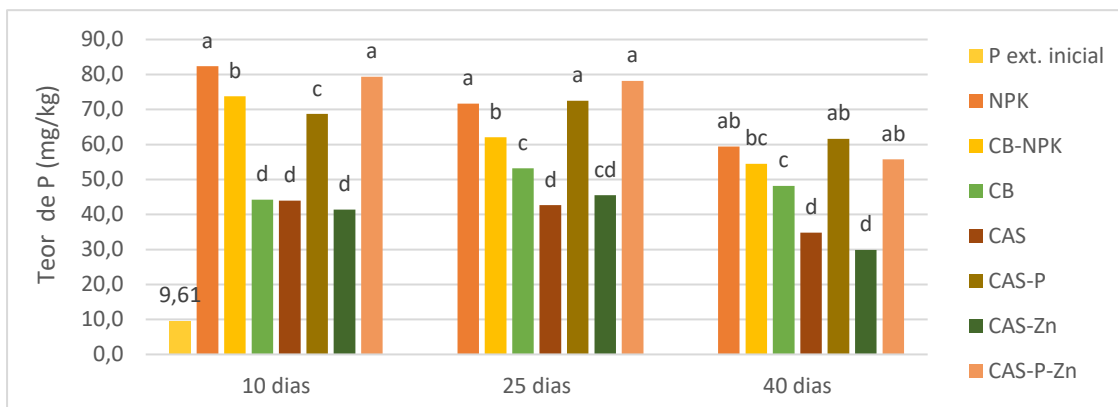


Figura 142 - Variação do teor de fósforo extraível pelo método de Egnér-Riehm no solo nas sete modalidades ensaiadas. Valores médios de 3 repetições. Valores com letras diferentes são estatisticamente diferente à  $P < 0,05$ .

É possível observar que a disponibilidade do P no solo foi diminuindo ao longo do ensaio experimental, à exceção de três modalidades: CB, CAS-P e CAS-Zn onde os valores de P disponível obtidos aos 10 dias após a germinação foram inferiores aos dos 25 dias, voltando a diminuir aos 40 dias.

A disponibilidade de P foi maior nas modalidades NPK, CB-NPK, CAS-P e CAS-P-Zn, ou seja, naquelas onde houve uma adição de P quer através de um adubo com efeito *starter* quer pela adição de um adubo fosfatado. Num ensaio experimental onde foram usadas duas espécies (*Zea mays* L. e *Amaranthus cruentus* L.) em dois tipos de solos (arenoso e argiloso), constatou-se que o efeito do chorume no incremento da absorção de P pelas plantas era similar com o uso de um fertilizante mineral fosfatado (Bachmann, S., *et al.*, 2011).

Aos 10 dias após a germinação, a disponibilidade foi superior nas modalidades NPK e CAS-P-Zn, todavia não existiram diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) entre as duas. Os valores estatisticamente diferentes foram obtidos nos tratamentos CB-NPK e CAS-P, sendo a segunda modalidade a que obteve valores mais elevados.

Relativamente ao segundo período de amostragem, a situação é semelhante à do primeiro, onde as modalidades NPK, CAS-P e CAS-P-Zn não mostram diferenças

significativas, tendo estas obtido valores superiores às restantes. À semelhança do que ocorreu nos 10 dias após a germinação, a disponibilidade de P foi menor no tratamento CAS.

Por último, aos 40 dias após a germinação, a homogeneidade entre as três modalidades mencionadas acima mantém-se, bem como a sua superioridade em relação às restantes. No entanto, os valores obtidos são inferiores àqueles que se obteve nos dois primeiros cortes. Neste caso, os valores de P disponível mais baixos foram obtidos na modalidade CAS-Zn.

Os valores das concentrações de fósforo extraível no solo nas sete modalidades aos 10, 25 e 40 dias após a germinação podem ser observados na figura 23.

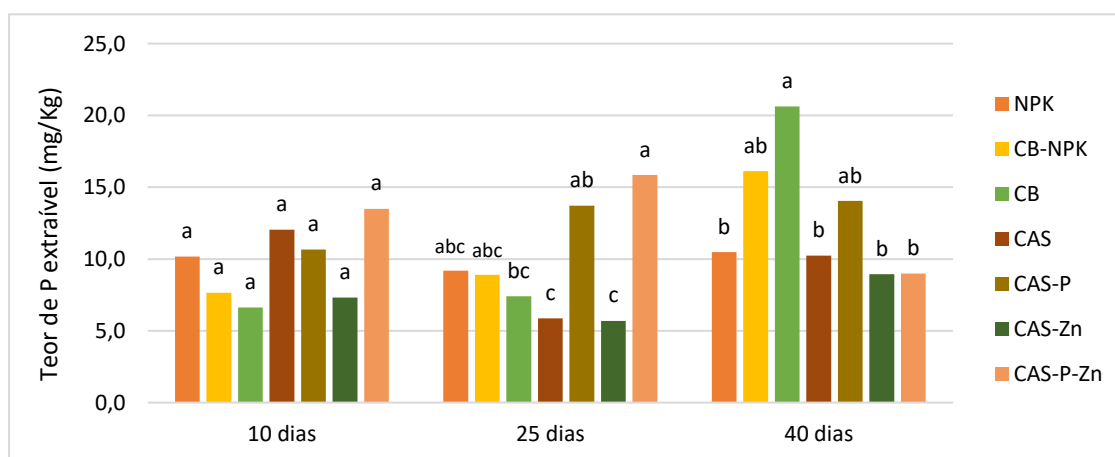


Figura 153 - Variação do teor de fósforo extraível com  $\text{CaCl}_2$  (0,01 M) no solo nas sete modalidades ensaiadas. Valores médios de 3 repetições. Valores com letras diferentes são estatisticamente diferente à  $P < 0,05$ .

Aos 10 dias de crescimento não existiram diferenças significativas entre as sete modalidades. Porém, pela análise do gráfico 23 pode-se verificar que as modalidades onde o chorume foi acidificado, os valores de P extraível são mais elevados, com exceção da modalidade CAS-Zn.

Aos 25 dias de crescimento, a modalidade CAS-P-Zn destacou-se positivamente das restantes, apresentando uma semelhança com a modalidade CAS-P (segunda modalidade com os valores mais altos). As modalidades CAS e CAS-Zn mantêm a inferioridade relativamente às concentrações de P extraível das outras modalidades.

Já aos 40 dias de crescimento, os valores mais elevados foram obtidos no tratamento CB, seguidos do CB-NPK e do CAS-P que não apresentam diferenças significativas entre eles. Nestas três modalidades, as concentrações foram aumentando ao longo do ensaio experimental. Com exceção da modalidade CAS-P, nas modalidades onde o chorume foi acidificado, mantém-se a inferioridade relativamente às outras modalidades.

O solo utilizado apresentava baixos teores de P, pelo que as diferenças observadas são o resultado da aplicação dos diferentes tratamentos aplicados e as suas interações com o solo. No caso das modalidades cujos valores de P no solo foram baixos, como a CB, CAS, CAS-Zn e CAS-P-Zn, as quantidades de P extraível foram elevadas. Isto indica que a planta não foi eficiente na utilização de P. Estes resultados poderão ser explicados pelo facto de se formarem complexos com metais (como o Al, Fe ou Ca) que tornam o P indisponível para a absorção por parte da planta (Illmer *et al.*, 1995). Por outro lado, os tratamentos CB-NPK e CAS-P foram os que apresentaram os melhores resultados relativamente à exportação de P e que exibiram as maiores quantidades de P extraível pelo método Egnér-Riehm, ou seja, estes dois tratamentos são os mais indicados para um bom fornecimento de P à planta.

## Parte IV – Síntese e conclusões

Os fertilizantes orgânicos, como é o caso do chorume bovino, enriquecidos com nutrientes são mais económicos. Este tipo de fertilizantes têm um papel significativo na conservação e melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos, podendo ser utilizados como uma alternativa aos fertilizantes sintéticos. Além disso, contribuem para a sustentabilidade da exploração, melhoram a produtividade das culturas (Bhadu, V. *et al.*, 2017) e conservam a fertilidade dos solos (Jacob, S. *et al.*, 2017).

Ensaio experimentais onde se aplicaram chorumes enriquecidos com variados nutrientes, demonstraram que é possível obter produtividades semelhantes às aquelas onde foram aplicados apenas fertilizantes químicos. O facto de se aplicar ao solo este tipo de efluente faz com que a sua eliminação da exploração seja realizada de uma forma segura e consciente sem haver consequências para o meio ambiente (Jacob, S. *et al.*, 2017).

Os efeitos ambientais associados à aplicação de resíduos orgânicos ao solo, como o chorume, estão já claramente identificados. A acidificação do chorume é um método utilizado que permite não só minimizar as emissões de amoníaco como também aumentar a solubilização dos nutrientes pelos quais é composto e assim, levar ao incremento da sua disponibilidade para as plantas.

A realização deste trabalho tinha como principal objetivo determinar se a aplicação de chorume acidificado a um tipo de solo teria um potencial efeito *starter* para a cultura do milho, nomeadamente no que se refere às concentrações de azoto, fósforo e zinco presentes na planta.

Após a análise dos resultados obtidos podemos concluir o seguinte:

O uso de chorume bovino não tratado combinado com o uso de adubo com efeito *starter* proporcionou as maiores produções de matéria seca do milho. No último período de crescimento, verificou-se um efeito do enriquecimento do chorume com fósforo e zinco, levando a um aumento da produção da matéria seca.

A acidificação do chorume conduziu a teores de azoto na planta superiores aos restantes tratamentos. Relativamente aos teores de fósforo presentes na planta, o tratamento com chorume não tratado foi aquele onde as concentrações foram as mais baixas. As concentrações de zinco mais altas foram obtidas com o tratamento onde se aplicou somente o adubo com efeito *starter*.

No que se refere aos valores médios de azoto extraível pela planta, a modalidade com chorume acidificado mostrou valores superiores aos observados nas restantes modalidades, principalmente no último período de crescimento. Assim, a utilização de ácido sulfúrico poderá proporcionar níveis de azoto extraíveis semelhantes aos do adubo, contudo esses efeitos apenas se notarão numa fase mais tardia.

Relativamente aos teores de fósforo extraível pela planta, a combinação do chorume não tratado com o adubo mostrou ser uma alternativa bastante eficiente, apresentando valores superiores aos restantes tratamentos.

Na exportação de zinco, a incorporação do adubo *starter* proporcionou as maiores concentrações deste micronutriente na planta. Contudo, o enriquecimento do chorume com zinco apresentou um efeito positivo nos valores exportados obtidos.

Em relação aos valores médios de fósforo extraível no solo, foi possível observar diferenças significativas entre as modalidades ensaiadas, constatando-se uma superioridade naquelas onde houve uma adição de fósforo quer através de um adubo com efeito *starter* quer pela adição de um adubo fosfatado.

A combinação do chorume não tratado com o adubo mostrou ser bastante eficiente em termos produtivos, quer em matéria verde quer em matéria seca, comparando com a aplicação de chorume acidificado. Esta combinação beneficiou a exportação de P por parte da planta, conduzindo ao aumento das produções de matéria seca e a constituição nutricional das plantas é melhorada em termos de azotados e fosfatados.

Em trabalhos futuros, seria interessante verificar o efeito estudado noutra tipo de solos, bem como noutras épocas do ano. Por outro lado, podem ser considerados outros tipos de aditivos que não sejam ácidos fortes, como o ácido sulfúrico que requer diversos cuidados aquando da sua utilização.



## Parte V – Referências Bibliográficas

- Aarnink, A. J. A., Van Ouwerkerk, M. W. A. and Verstegen, E. N. J., 1992. "A Mathematical Model for Estimating the Amount and Composition of Slurry from Fattening Pigs." *Livestock* 31: 133–47.
- Abdalla, C. W., 2002. "The Industrialization of Agriculture: Implications for Public Concern and Environmental Consequences of Intensive Livestock Operations." *Penn State Environmental Law Review* 10.
- Amaro, S., Ribeiro, L., Paralta, E. and Cardoso Pinto, F., 2006. "*Aplicação de Efluentes de Suiniculturas Como Fertilizantes Na Agricultura: Impacto Da Qualidade Dos Meios Hídricos: Um Caso de Estudo Em Santiago Do Cacém, Alentejo.*" Figueira da Foz: Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos.
- Amin, M. G., Forslund, A., Bui, X. T., Juhler, R. K. and Petersen, S. O., 2013. "Persistence and Leaching Potential of Microorganisms and Mineral N in Animal Manure Applied to Intact Soil Columns." *Applied and Environmental Microbiology* 79(2): 535–42.
- Balsari, P., E. Dinuccio, and F. Gioelli., 2006. "A Low Cost Solution for Ammonia Emission Abatement from Slurry Storage." *International Congress Series* 1293: 323–26.
- Bates, T. E., 1971. "Response of Corn to Small Amounts of Fertilizer Placed with the Seed." *Agronomy Journal* 11(63): 369–71.
- Borst, G. H. A., 2001. "Acute Intoxification of Pigs with Hydrogen Sulphide as a Result of Acidification of Slurms." *Tijdschr Diergeneeskde* 126(4): 104–5.
- Brown, L. D., 1968. "Pop-up: Where, When and How Much." *Plant Soil* 26: 224–34.
- Burton, C. H. and Turner, C., 2003. "*Manure Management: Treatment Strategies for Sustainable Agriculture*". 2nd ed. Silsoe, UK: Silsoe Research Institute.
- Cameron, K. C., Di, H. J. and Moir, J. L., 2013. "Nitrogen Losses from the Soil/Plant System: A Review." *Annals of Applied Biology* 162(2): 145–73.
- Chadwick, D., Sommer, S., Thorman, R., Fanguero, D., Cardenas, L., Amon, B., and Misselbrook, T., 2011. Manure management: Implications for greenhouse gas emissions. *Animal Feed Science and Technology* 166-167, pp. 514-531.
- Dinuccio, E., Berg, W. and Balsari, P., 2008. "Gaseous Emissions from the Storage of Untreated Slurries and the Fractions Obtained after Mechanical Separation." *Atmospheric Environment* 42(10): 2448–59.
- Egnér, H., Riehm, H. and Domingo, W., 1960. "Untersuchungen Über Die Chemische Bodenanalyse Als Grundlage Für Die Beurteilung Des Nährstoffzustandes Der Böden. Chemische Extraktionsmethoden Zur Phosphor Und Kaliumbestimmung." *K. Lantbrukshögskolan Ann* 26: 199–215.
- ENEAPAI, 2007. *Estratégia Nacional Para Os Efluentes Agro - Pecuários e Agro - Industriais*.
- Eriksen, J., Sørensen, P. and Elsgaard, L., 2008. "The Fate of Sulfate in Acidified Pig

- Slurry during Storage and Following Application to Cropped Soil.” *Journal of Environment Quality* 37(1): 280.
- Fageria, N. K. and Zimmermann, F. J. P., 1979. “Interação Entre Fósforo, Zinco e Calcário Em Arroz de Sequeiro.” *Revista Brasileira de Ciencia do Solo, Campinas* 3: 88–92.
- Fangueiro, D., Ribeiro, H.M., Vasconcelos, E., Coutinho, J. and Cabral, F., 2012. "Influence of animal slurries composition and relative particle size fractions on the C and N mineralization following soil incorporation." *Biomass and Bioenergy* 47, 50–61.
- Fangueiro, D., Coutinho, J., Borges, L., Cabral, F. and Vasconcelos, E., 2013. “Nitrogen and Carbon Availability of Liquid and Solid Fractions of Pig Slurry Obtained Using Different Separation Technologies.” *Biology and Fertility of Soils* 50(2): 333–41.
- Fangueiro, D., Surgy, S., Napier, V., Menaia, J., Vasconcelos, E. and Coutinho, J. 2014. “Impact of Slurry Management Strategies on Potential Leaching of Nutrients and Pathogens in a Sandy Soil Amended with Cattle Slurry.” *Journal of Environmental Management* 146: 198–205.
- Fangueiro, D., Senbayran, M., Trindade, H. and Chadwick, D., 2008. "Cattle slurry treatment by screw press separation and chemically enhanced settling: Effect on greenhouse gas emissions after land spreading and grass yield." *Bioresource Technology* 99, pp. 7132-7142.
- Fangueiro, D., Hjorth, M. and Gioelli F., 2015. “Acidification of Animal Slurry--a Review.” *Journal of environmental management* 149: 46–56.
- Flotats, X., Bonmatí, A., Fernández, B. and Magrí, A., 2009. “Manure Treatment Technologies: On-Farm versus Centralized Strategies. NE Spain as Case Study.” *Bioresource Technology* 100(22): 5519–26..
- Galrao, E. Z. and Mesquita Filho, M. V., 1981. “Efeito de Fontes de Zinco Na Producao de Materia Seca Do Milho Em Um Solo Sob Cerrado.” *Revista Brasileira de Ciencia do Solo, Campinas* 5: 167–70.
- Graham, R. D. and Welch, R. M., 1996. “A Strategy for Breeding Staple-Food Crops with High Micronutrient Density.” *Trace Elements in Man and Animals* 9: 447–50.
- Hanson, W.C., 1950. “The Photometric Determination of Phosphorus in Fertilizers Using the Phosphovanado-Molybdate Complex.” *Sci. food Agric.* 1: 172–73.
- Heiniger, R. W., 2010. “Starter Fertilizers Show Significant Corn Yield Increases Compared To No-Starter Checks.” *Fluid Fertilizer Foundation* 18(68).
- Hergert, G. W., Wortmann, C. S., Ferguson, R. B., Shapiro, C. A. and Shaver, T. M., 2012. “Using Starter Fertilizers for Corn , Grain Sorghum , and Soybeans.” *NebGuide* (G361): 1–3.
- Hjorth, M., Cocolo, G., Jonassen, K., Abildgaard, L., Sommer, S. G., 2015. “Continuous In-House Acidification Affecting Animal Slurry Composition.” *Biosystems Engineering* 132: 56–60.
- Houba, V.J.G., Temminghoff, E.J.M., Gaikhorst, G.A. and van Vark, W., 2000. “Soil Analysis Procedures Using 0.01 M Calcium Chloride as Extraction Reagent.



- Commun.” *Soil Sci. Plant. Anal* 31: 1299–1396.
- Kai, P., Pedersen, P., Jensen, J. E., Hansen, M. N. and Sommer, S. G., 2008. “A Whole-Farm Assessment of the Efficacy of Slurry Acidification in Reducing Ammonia Emissions.” *European Journal of Agronomy* 28(2): 148–54.
- Kalra, P. Y., 1998. “Handbook of Reference Methods for Plant Analysis,.” *Crop Science*: 75–83.
- Kovar, J. L. and Barber, S. A., 1987. “Placing Phosphorus and Potassium for the Greatest Recovery.” *Journal of Fertilizer* (4): 1–6.
- Kovar, J., 2002. “Searching For More Effective Corn Starters In Conservation-Till.” *The Fluid Fertilizer Foundation* 20: 230-240.
- Laegreid, M., Bockman, O. C. and Kaarstad, O., 2001. “Agriculture, Fertilizers and the Environment.” *Agricultural Systems* 68: 94–96.
- Lakanen, E. and Ervio, R., 1971. “Comparison of Eight Extractants for the Determination of Plant Available Micronutrients in Soils.” *Acta Agr. Fenn* 123: 223–32.
- Lee, L. S., Carmosini, N., Sassman, S. A., Dion, H. D. and Sepúlveda, M. S., 2007. “Agricultural Contributions of Antimicrobials and Hormones on Soil and Water Quality.” *Advances in Agronomy* 93: 1–68.
- Macedo, S., Vasconcelos, E., Semitela, S., Coutinho, J. and Fangueiro, D., 2013. “Effects of Soil Application Techniques and Cattle Slurry Pre-Treatment on NH<sub>3</sub> Emissions and Soil Solution Composition e a Pot Experiment.” In *15th RAMIRAN Conference*, Versailles, France.
- Mantovi, P., Fumagalli, L., Beretta, G. P. and Guermandi, M., 2006. “Nitrate Leaching through the Unsaturated Zone Following Pig Slurry Applications.” *Journal of Hydrology* 316(1–4): 195–212.
- Marmo, L., Feix, I., Bourmeau, E., Amlinger, F., Bannick, C.G., de Neve, S., Favoino, E., Gendebien, A., Gilbert, J., Givélet, M., Leifert, I., Morris, R., Rodriguez Cruz, A., Ruck, F., Siebert, S. and Tittarelli, F., 2009. “Task Group 4 on Exogenous Organic Matter, Organic Matter and Biodiversity.” *EU*.
- Martí, F.B., and Muñoz, J. R., 1957. “Flame Photometry: A Manual of Methods and Applications.” *Elsevier*.
- Mascagni, H. J., Boquet, D. and B. Bell., 2007. “Influence of Starter Fertilizer on Corn Yield and Plant Development on Mississippi River Alluvial Soils.” *Better Crops* 91: 8–9.
- McLean, E O. 1982b. “Soil PH and Lime Requirement.” *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties* 9(9): 199–223.
- Mengel, K., and Kirby, EA., 2001. *Principles of Plant Nutrition*. 5th ed. Kluwer Academic Publishers.
- Ministério Da Agricultura , Do Mar, Do Ambiente e Do Ordenamento do Território. 2013. *97 Ministério Da Agricultura E Do Abastecimento*. Portugal.
- Moraes, J., and Rabelo, N., 1986. “Um Método Simples Para a Digestão de Amostras

- de Plantas." *Ministério da Agricultura Brasileira*.
- Mortvedt, J. J., 1983. "Band Fertilizer Placement - How Much and How Close." *National Fertilizer Solution*: 7–10.
- Mulvaney, P., 1996. "Surface Plasmon Spectroscopy of Nanosized Metal Particles." *Langmuir* 12: 788–800.
- Ndegwa, P. M., Hristov, A. N., Arogo, J. and Sheffield, R. E., 2008. "A Review of Ammonia Emission Mitigation Techniques for Concentrated Animal Feeding Operations." *Biosystems Engineering* 100(4): 453–69.
- Olness, A. and Benoit, G.R., 1992. "A Closer Look at Corn Pollination A Closer Look at Corn Pollination." *Better Crops*: 2–3.
- Portaria, 631. 2009. *Ministérios Do Ambiente , Do Ordenamento Do Território E Do Desenvolvimento Regional E Da Agricultura , Do Desenvolvimento Rural*.
- Portejoie, S., Dourmad, J. Y., Martinez, J. and Lebreton, Y., 2004. "Effect of Lowering Dietary Crude Protein on Nitrogen Excretion, Manure Composition and Ammonia Emission from Fattening Pigs." *Livestock Production Science* 91(1–2): 45–55.
- Portejoie, S., Martinez, J., Guiziou, F. and Coste, C. M., 2003. "Effect of Covering Pig Slurry Stores on the Ammonia Emission Processes." *Bioresource Technology* 87(3): 199–207.
- Quelhas dos Santos, J., 2001. "Fertilização & Ambiente." Porto: Publicações Europa-América.
- Quelhas dos Santos, J., 2015. "Fertilização - Fundamentos Da Utilização de Adubos e Corretivos." Porto: Pubindústrias.
- Reetz, H. F., 2016. "Fertilizers and Their Efficient Use." *World Fertilizer Use Manual*. Paris: Publicações International Fertilizer Industry Association.
- Reeves, D. W., Touchton, J. T. and Burmester, C. H., 1986. "Starter Fertilizer Combinations and Placement for Conventional and No-Tillage Corn." *Journal of Fertilizer Issues*: 12–17.
- Regueiro, I., Coutinho, J. and Fanguero, D., 2016. "Alternatives to Sulfuric Acid for Slurry Acidification: Impact on Slurry Composition and Ammonia Emissions during Storage." *Journal of Cleaner Production* 131: 296–307.
- Rehm, G. W., 1986. "Effect of Phosphorus Placement Absorption by Irrigated Corn." *Journal of Fertilizer Issues* (3): 80–85.
- Silva, D. F., Andrade, C. L. T., Resende, A.V. and Hickmann, C., 2012. "Nitrogen Dynamics in Soils Cultivated with Maize and Fertilized with Pig Slurry." *Ambiente & Água* 7(12): 3625–4212.
- Sommer, S. G. and Hutchings, N. J., 2001. "Ammonia Emission from Field Applied Manure and Its Reduction - Invited Paper." *European Journal of Agronomy* 15(1): 1–15.
- Sørensen, P. and Eriksen, J., 2009. "Effects of Slurry Acidification with Sulphuric Acid Combined with Aeration on the Turnover and Plant Availability of Nitrogen."

*Agriculture, Ecosystems and Environment* 131(3–4): 240–46.

Touchton, J. T. and Karim, F., 1986. "Corn Growth and Yield Response to Starter Fertilizers in Conservation Tillage Systems." *Soil Tillage Research* 7(1-2): 135-144

Trindade, H., 1997. "Fluxos e Perdas de Azoto Em Explorações Forrageiras de Bovinicultura Leiteira No Noroeste de Portugal." Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Trás-os-Montes. 213 p.

Varenes, A., 2003. "Produtividade Dos Solos e Ambiente." Lisboa: Escolar Editora.

Vries, J. W., Groenestein, C. M. and Boer, I. J. M., 2012. "Environmental Consequences of Processing Manure to Produce Mineral Fertilizer and Bio-Energy." *Journal of Environmental Management* 102(x): 173–83.

Walker, M. E., Keisling, T.C., Balany, H. L. and Slappy, G. A., 1984. "Comparison of Starter Fertilizer Materials and Their Placement with Broadcast Fertilizer for Corn." *Journal of Fertilizer Issues*: 44–49.

Webb, J., Pain, B., Bittman, S. and Morgan, J., 2010. "The Impacts of Manure Application Methods on Emissions of Ammonia, Nitrous Oxide and on Crop Response-A Review." *Agriculture, Ecosystems and Environment* 137(1–2): 39–46.

### **Web Bibliografia**

"ANPROMIS." 2018. <http://www.anpromis.pt/o-milho.html> (20 de junho de 2018).

"Zinc for Crop Production | UMN Extension." <https://extension.umn.edu/micro-and-secondary-macronutrients/zinc-crop-production> (5 de outubro de 2018).

## Parte VI – Anexos

### Anexo 1

**Anexo 1.1** - Registos fotográficos das três repetições aos 10, 25 e 40 dias após a germinação da modalidade NPK.



Figura 24 – Registo fotográfico aos 10 dias de crescimento.



Figura 165 – Registo fotográfico aos 25 dias de crescimento.



Figura 26 – Registo fotográfico aos 40 dias de crescimento.

**Anexo 1.2** - Registos fotográficos das três repetições aos 10, 25 e 40 dias após a germinação da modalidade CB-NPK.



Figura 27 – Registo fotográfico aos 10 dias de crescimento.



Figura 28 – Registo fotográfico aos 25 dias de crescimento.



Figura 29 – Registo fotográfico aos 40 dias de crescimento.



**Anexo 1.3** - Registos fotográficos das três repetições aos 10, 25 e 40 dias após a germinação da modalidade CB.



Figura 170 – Registo fotográfico aos 10 dias de crescimento.



Figura 181 – Registo fotográfico aos 25 dias de crescimento.



Figura 192 – Registo fotográfico aos 40 dias de crescimento.

**Anexo 1.4** - Registos fotográficos das três repetições aos 10, 25 e 40 dias após a germinação da modalidade CAS.



Figura 203 – Registo fotográfico aos 10 dias de crescimento.

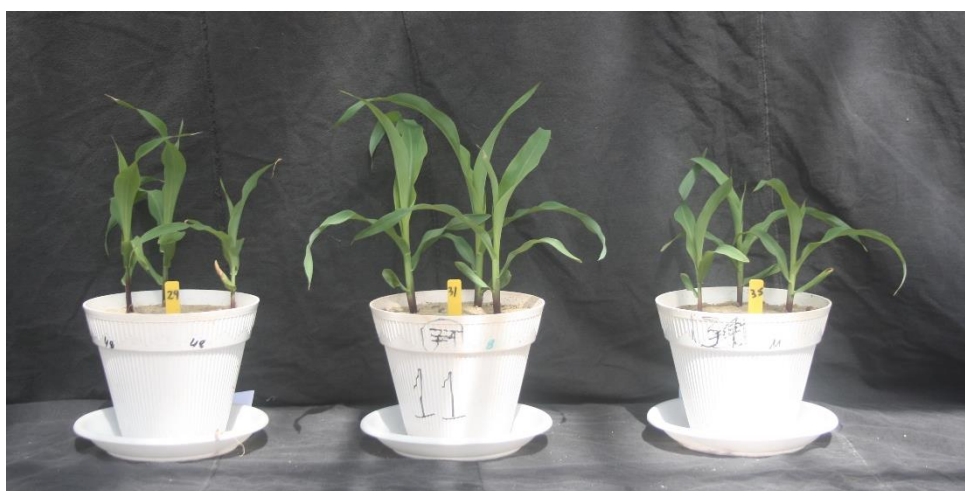


Figura 214 – Registo fotográfico aos 25 dias de crescimento.

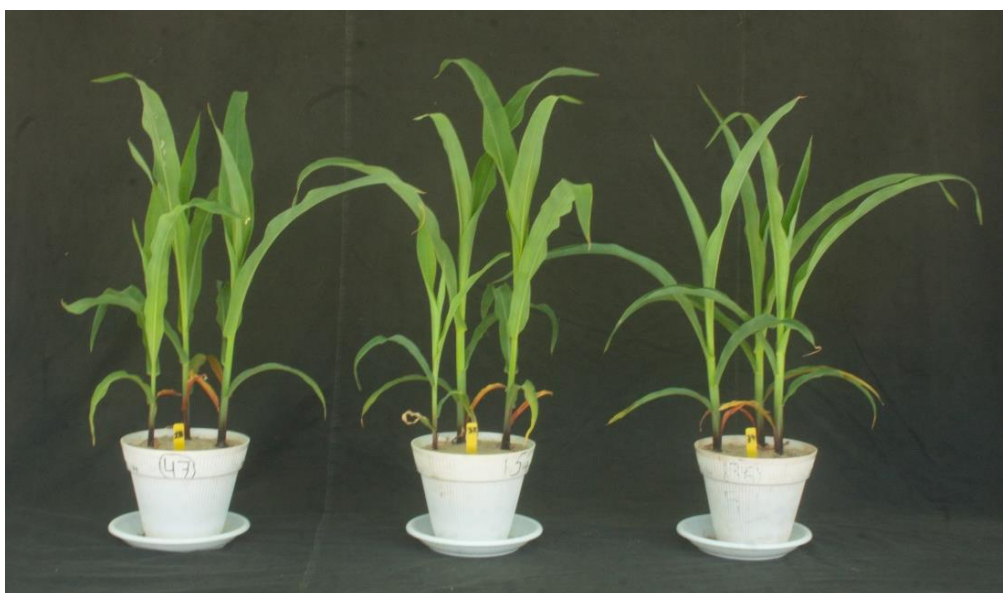


Figura 225 – Registo fotográfico aos 40 dias de crescimento.

**Anexo 1.5** - Registos fotográficos das três repetições aos 10, 25 e 40 dias após a germinação da modalidade CAS-P.



Figura 36 – Registo fotográfico aos 10 dias de crescimento.



Figura 37 – Registo fotográfico aos 25 dias de crescimento.



Figura 38 – Registo fotográfico aos 40 dias de crescimento.



**Anexo 1.6** - Registos fotográficos das três repetições aos 10, 25 e 40 dias após a germinação da modalidade CAS-Zn.



Figura 39 – Registo fotográfico aos 10 dias de crescimento.



Figura 40 – Registo fotográfico aos 25 dias de crescimento.

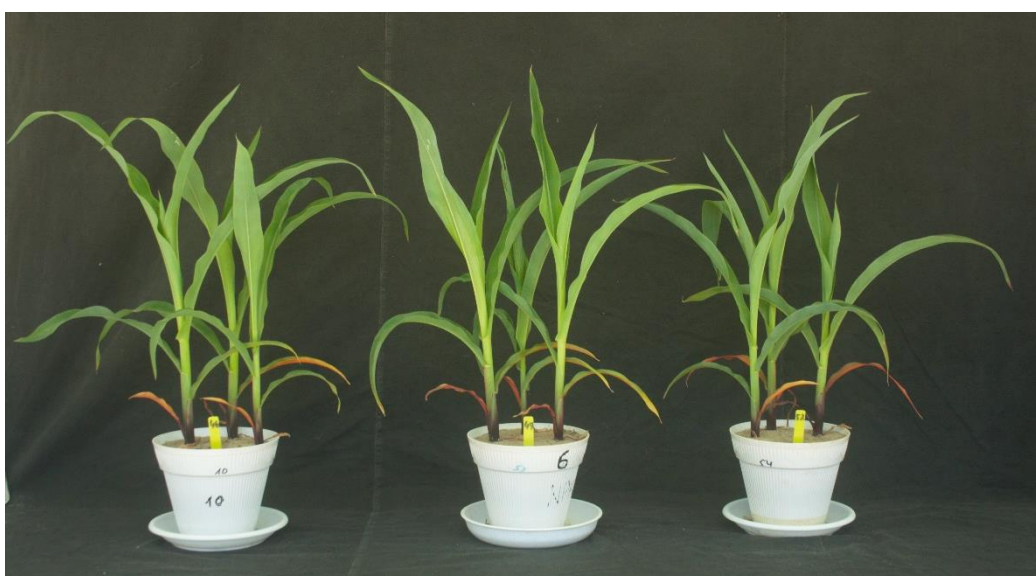


Figura 41 – Registo fotográfico aos 40 dias de crescimento.

**Anexo 1.7** - Registos fotográficos das três repetições aos 10, 25 e 40 dias após a germinação da modalidade CAS-P-Zn.



Figura 42 – Registo fotográfico aos 10 dias de crescimento.



Figura 43 – Registo fotográfico aos 25 dias de crescimento.



Figura 44 – Registo fotográfico aos 40 dias de crescimento.

## Anexo 2

**Tabela 1** – Número de folhas por vaso e respetiva altura média das três plantas aos 10 dias de crescimento.

Modalidade	Repetição	Número de folhas/vaso	Altura (cm)
<b>NPK</b>	1	3	11,60
	2	3	11,10
	3	3	9,77
<b>CB-NPK</b>	1	3	11,27
	2	3	11,10
	3	3	10,93
<b>CB</b>	1	3	10,43
	2	3	10,60
	3	3	10,43
<b>CAS</b>	1	3	9,93
	2	3	10,40
	3	3	9,10
<b>CAS-P</b>	1	3	9,77
	2	3	9,93
	3	3	9,77
<b>CAS-Zn</b>	1	3	10,93
	2	3	9,93
	3	3	10,27
<b>CAS-P-Zn</b>	1	3	10,43
	2	3	9,43
	3	3	10,27

**Tabela 2** - Número de folhas por vaso e respetiva altura média das três plantas aos 25 dias de crescimento.

<b>Modalidade</b>	<b>Repetição</b>	<b>Número de folhas/vaso</b>	<b>Altura (cm)</b>
<b>NPK</b>	1	5	31,10
	2	5/6	28,43
	3	5	36,60
<b>CB-NPK</b>	1	5/6	33,27
	2	5/6	31,77
	3	5/6	35,77
<b>CB</b>	1	5/6	23,37
	2	5	23,10
	3	5	24,43
<b>CAS</b>	1	5	21,60
	2	5	27,77
	3	4/5	20,43
<b>CAS-P</b>	1	5	21,77
	2	5	20,10
	3	5	22,43
<b>CAS-Zn</b>	1	3/4/5	17,60
	2	4/5	22,77
	3	5/6	24,93
<b>CAS-P-Zn</b>	1	3/4/5	21,60
	2	3/5	18,27
	3	4/5	22,60

**Tabela 3** - Número de folhas por vaso e respectiva altura média das três plantas aos 10 dias de crescimento.

<b>Modalidade</b>	<b>Repetição</b>	<b>Número de folhas/vaso</b>	<b>Altura (cm)</b>
<b>NPK</b>	1	7	54,27
	2	7	52,93
	3	7	53,27
<b>CB-NPK</b>	1	7	57,10
	2	7	55,77
	3	7	55,27
<b>CB</b>	1	7	49,43
	2	7	43,43
	3	7	48,43
<b>CAS</b>	1	7	50,10
	2	7/8/8	51,27
	3	7	53,43
<b>CAS-P</b>	1	7/8/7	51,87
	2	7/7/8	53,43
	3	7	52,93
<b>CAS-Zn</b>	1	7/8/8	53,43
	2	7/7/8	51,27
	3	7/7/8	48,60
<b>CAS-P-Zn</b>	1	7/8/7	57,27
	2	7/7/8	48,10
	3	7/7/8	53,93

## Anexo 3

### 3.1 Produção de matéria verde

#### Parte aérea

A produção de milho foi quantificada aos 10 dias, aos 25 dias e aos 40 dias após a germinação. Os valores da matéria verde da parte aérea do milho obtidos em cada período apresentam-se na figura 45.

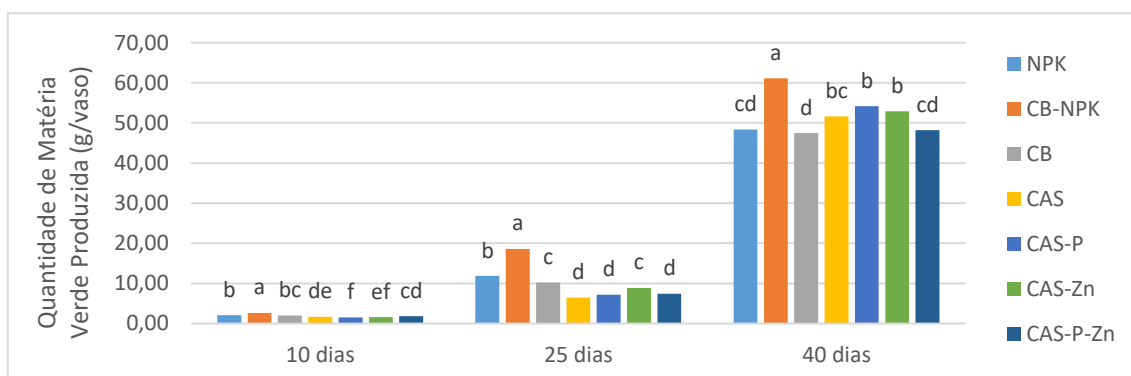


Figura 45 - Evolução da matéria verde da parte aérea do milho obtida em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada data, valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes à  $P < 0,05$ .

#### Raízes

Os valores de matéria verde das raízes do milho obtidos em cada data de amostragem apresentam-se na figura 46.

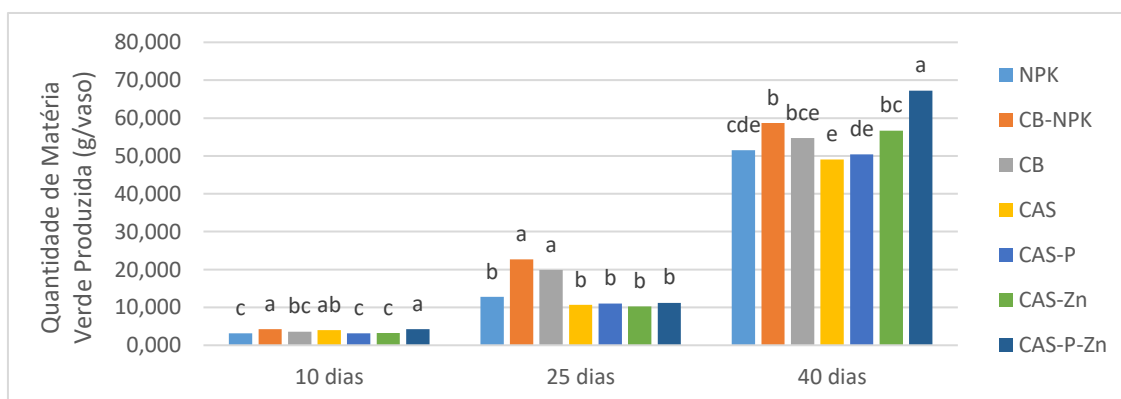


Figura 46 - Evolução da matéria verde das raízes do milho obtida em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada data, valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes à  $P < 0,05$ .

## Totalidade da planta

Na figura 47 constam os valores da matéria verde produzida pela planta, em termos globais, obtidos através da soma dos valores da parte aérea com os das raízes.

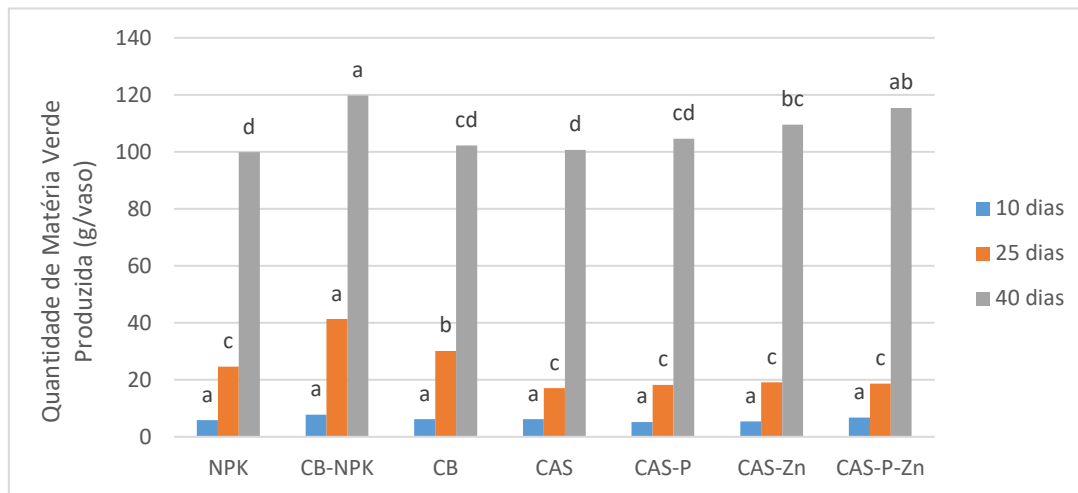


Figura 47- Evolução global da matéria verde do milho obtida em cada modalidade aos 10, 25 e 40 dias após a germinação. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada data, valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes à  $P < 0,05$ .